

Reclaiming Disturbed Land for Forestry

废弃土地的林业复垦技术

（英）Andy Moffat & John McNeill 著

孙 凤 袁中群 王晓峰 译

华绍祖 校审

黄 河 水 利 出 版 社

废弃土地的
林业复垦技术



Reclaiming Disturbed Land for Forestry

责任编辑　武会先　郜志峰
封面设计　朱　鹏



ISBN 7-80621-393-7/TD · 1
定 价：14.00 元

废弃土地的林业复垦技术

（英）Andy Moffat & John McNeill　著
孙　凤　袁中群　王晓峰　译
华绍祖　校审

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

废弃土地的林业复垦技术/(英)莫法特,(英)麦克内尔著;孙凤等译.—郑州:黄河水利出版社,2001.9

书名原文:Reclaiming Disturbed Land for Forestry

ISBN 7-80621-393-7

Ⅰ.废… Ⅱ.①莫…②麦…③孙… Ⅲ.①复土造田②造林—技术 Ⅳ.TD88

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 058299 号

责任编辑:武会先　郜志峰	封面设计:朱　鹏
责任校对:杨秀英	责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号　邮编:450003

发行部电话及传真:(0371)6022620

E-mail:yrcp@public2.zz.ha.cn

印　刷:黄河水利委员会印刷厂

开　本:850 mm×1 168mm　1/32	印　张:5.5　插　页:4
版　次:2001 年 9 月　第 1 版	印　数:1—2 400
印　次:2001 年 9 月　郑州第 1 次印刷	字　数:138 千字

定　价:14.00 元

著作权合同登记号:图字 16-99-0035

Andy Moffat & John McNeill

RECLAIMING DISTURBED LAND FOR FORESTRY

根据 Crown copyright 1994 年版译出

"First published in the English language by the Forestry Commission © Crown copyright 19(appropriate year of first publication). This translation of Reclaiming Disturbed Land for Forestry is published by permission of the Controller of Her Majesty's Stationery Office, who accepts no responsibility for the accuracy of this translation."

《废弃土地的林业复垦技术》一书由林业委员会首次用英文出版,版权归皇家书局所有。该书中文版的翻译出版经英皇家书局授权。英皇家书局不对该书翻译的准确性负责。

前　言

本书主要是为那些参与荒地复垦并愿意在复垦地上种树的人们提供最新复垦技术。过去林业局曾推荐在进行土地复垦时用《矿区复垦及造林指南》。自实施 1981 年的《城乡规划(采矿)法》以来,根据实际需要,1983 年受环境司委托编写了该指南,以便对荒地复垦建设进行指导。该指南于 1985 年出版,收录 1 800 多篇文章,主要反映了矿区复垦的行之有效的方法。

然而,1985 年出版的《矿区复垦及造林指南》主要是基于 20 世纪 70 年代所采取的技术和试验。之后,林业委员会开始进行大量的研究及其他方面的工作,以改善矿区树木的性能,使之适应因采矿而遭破坏的土地。另外,林业委员会还利用机会将研究的成果应用于实践,特别是用在露天采煤矿区、砂砾石料场、高岭土矿区,并在填筑场地上造林取得了一些宝贵的经验。在此基础上,对原版的《矿区复垦及造林指南》进行了修改。

自 1985 年《矿区复垦及造林指南》出版以来,土地利用变得越来越重要。农产品的过剩使英国对土地利用进行全面再评价,稳步扩大造林面积是政府林业政策的主要方向。为了对采矿废弃的、荒芜的和填筑的土地进行改良,经实践后,人们普遍感觉到造林是最适合的一种做法。为了改善城市以及周围土地的形象并使其具有再创

造价值，鼓励人们在社区退化的土地上种树，政府已经认识到把荒芜土地改造成林地的重要性，并出台了废弃土地复垦赠款政策。

在森林工业内部，政策方面也有一些变化。如今造林要满足一系列目标要求，包括改善地貌形象，为再创造提供机会，还要提供通向乡村的公共道路，为野生动物提供栖息地，满足木材生产的需要等。本书充分反映了这些变化，并对如何把荒芜地或矿区恢复成林地提出了好的建议，为最大限度地创造新的多样化的林地面貌提供机遇。

本书的结构类似于1985年出版的《矿区复垦及造林指南》，集中阐述了如何把矿区复垦成林地，但书中许多技术恰与其他受破坏的土地如废弃地或者废物处理场地等的改造有关。这些场地类型将引起人们的特别关注，藉此来增加城市和城市边缘地区的森林覆盖面积，特别是在指定的社区林地上。本书对计划种树、造林或规划为娱乐场所的地方，都具有普遍指导作用。

本书共分为四个部分：第一部分概述了如何处理复垦中普遍存在的问题。对破坏程度、复垦成林地的价值进行了探讨。正如被代替的原书一样，本书同样也有一章重点阐述了在复垦期间或造林期间被破坏场地的一些主要问题。

第二部分是本书的主要章节，推荐矿区复垦及其后的养护过程中需采用的技术。成功的复垦常取决于采矿前所做的决策，该部分有一章专门阐述开矿前所要考虑

的问题。

第三部分包括几个章节，阐述了与植树复垦有关的废弃土地和填筑场地的特性。有一章还详细阐述了可以用于造林的重要矿区、废岩堆和废弃物材料的特别复垦策略。

最后一部分是附件，包括恢复和养护清单、样本树的种植合同、合适的土地恢复进度表，以及一套建议矿区复垦造林规划的许可的样本条件。

本书是一本综合性指南，不仅可以为矿物公司准备造林规划申请书提供帮助；同时，也可以为矿产规划局考虑这样的申请书提供帮助，还可以对废弃土地和其他受破坏的土地复垦后的造林计划提供综合依据。本书将有助于矿物规划局和林业局之间的法规评议，同时也有助于人们申请林业委员会的造林拨款，用于在废弃地上造林。

① 深煤矿井的废弃物堆积场（艾尔郡）

② 未垦复的砖黏土矿区

③ 深矿区填料土的开挖

④ 露天煤矿区（艾尔郡）











⑤ 苏格兰新通格兰杰煤矿废弃堆上自然形成的60年生白桦树

⑥ 在格温特郡已恢复煤矿区种植的针叶林









⑦ 在迪恩林区沃尔格林建设的湿地(露天煤矿复垦区)

⑧ 复垦后的露天煤矿开采区(格拉摩根郡西部的邓雷文湖)

⑨ 阿尔戈德国家公园(开矿后复垦而成)









⑩ 大面积广泛使用推土机导致土壤压实

⑪ 格拉摩根郡西部煤矿复垦地上的油松(因缺氮和磷长势不好)

⑫ 种植在重金属污染废渣上的瑞迪亚纳松(康沃尔郡)

⑬ 枯死的地面植物和在黄铁矿废渣上新种植的树(格拉摩根郡中部)





⑭ 使用挖土机、自卸车进行土壤剥离

⑮ 在没有植被覆盖的煤矿废弃堆上出现了侵蚀



⑯ 在南威尔士已恢复露天煤矿区的等高戗台



⑰ 用360° 旋转挖掘机平整土地，铺撒泥炭土

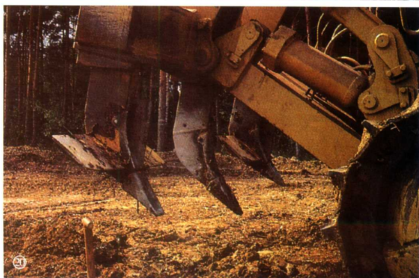
⑱ 用自卸卡车将材料运抵最终目的地

⑲ 已恢复的泥炭土表面(艾尔郡)

⑳ 安装在卡得比勒D8牵引车上两侧带翼的犁，耕作深度可达750mm













㉑ 在复垦露天煤矿废渣上种植的5年生西特卡云杉与当地植被一起生长

㉒ 西特卡云杉与莲豆草一起种植

㉓ 与红桤木混交种植在已恢复的露天废物堆上的5年生西特卡云杉(艾尔郡)





㉔ 在格拉摩根郡西部的露天煤矿，对3年生的落叶松属和桤木喷施液体污泥浆肥料



㉕ 填筑场地产生的气体对树木和地面植被的影响



㉖ 种植在松散堆放的土堆上的桤木—白蜡树—樱桃树混交林，6年后的生长情景

目　　录

前言

第一部分　复垦中存在的问题

第一章　英国的复垦……………………………………（3）
一、为什么要复垦 ………………………………………（3）
二、为什么要把废弃土地复垦成林地 …………………（5）
三、立法背景…………………………………………（12）
四、森林和采矿工业……………………………………（13）
五、林业委员会对复垦的研究…………………………（14）
第二章　废弃土地面临的挑战 …………………………（16）
一、概述………………………………………………（16）
二、土壤的物理特性……………………………………（16）
三、缺乏表层土…………………………………………（20）
四、水文条件……………………………………………（21）
五、气候条件……………………………………………（22）
六、土壤污染……………………………………………（23）
七、生物活动……………………………………………（23）
八、空气污染……………………………………………（24）
九、动物破坏……………………………………………（25）
十、植物之间的竞争……………………………………（25）
十一、破坏………………………………………………（26）

第二部分　矿区的复垦

第三章　采矿前的准备 ……………………………… (29)
一、概述……………………………………………… (29)
二、准备规划申请——场地调查……………………… (29)
三、林业局的作用…………………………………… (37)
第四章　采矿期间的操作规程 ………………………… (40)
一、概述……………………………………………… (40)
二、伐树……………………………………………… (40)
三、采伐后残余物的清除…………………………… (42)
四、土壤剥离………………………………………… (43)
五、土壤存放………………………………………… (45)
第五章　复垦 ………………………………………… (47)
一、概述……………………………………………… (47)
二、地形……………………………………………… (48)
三、地形和地貌……………………………………… (53)
四、地形和野生动物栖息地………………………… (54)
五、地形和地质保护………………………………… (56)
六、道路……………………………………………… (56)
七、土壤复位………………………………………… (58)
八、还原土壤的厚度………………………………… (63)
第六章　复垦后的养护 ……………………………… (64)
一、概述……………………………………………… (64)
二、养护期…………………………………………… (64)
三、翻耕……………………………………………… (65)
四、地面覆盖………………………………………… (67)
五、植树……………………………………………… (69)

六、杂草的控制…………………………………………………………（77）
七、树木保护…………………………………………………………（78）
八、管理——残缺补植…………………………………………………（79）
九、营养……………………………………………………………（79）

第三部分　特殊场地的复垦策略

第七章　废弃土地的复垦 ……………………………………………（87）
一、概述……………………………………………………………（87）
二、废弃地的特性……………………………………………………（87）
三、废弃地调查和评估………………………………………………（89）
四、被污染的土地……………………………………………………（90）
五、废弃地的补助金…………………………………………………（92）
第八章　废弃物填筑场地的复垦 ………………………………………（93）
一、概述……………………………………………………………（93）
二、填筑场地的环境…………………………………………………（93）
三、填筑场地造林……………………………………………………（96）
第九章　特殊废弃物堆的复垦 …………………………………………（99）
一、概述……………………………………………………………（99）
二、煤矿区的复垦……………………………………………………（99）
三、露天煤矿废弃堆的复垦 ……………………………………（101）
四、砂砾料场的复垦 ……………………………………………（104）
五、高岭土废弃物堆的复垦 ……………………………………（106）
六、金属矿山废弃物的复垦 ……………………………………（108）
七、硬石料场的复垦 ……………………………………………（111）
八、粉化燃料废灰的复垦 ………………………………………（112）
九、烟囱气体脱硫物（简称 FGD）及石膏废弃物的复垦
……………………………………………………………（115）

第四部分 附 件

附件 1 林业局赠款 …………………………………………… (119)
附件 2 复垦案例研究——格洛斯特郡迪恩林区沃尔格林已恢复的露天煤矿场地 ………………………… (121)
附件 3 恢复和养护的清单 ………………………………… (123)
附件 4 林业委员会的地址 ………………………………… (126)
附件 5 在规划许可造林作为后续土地利用的地方进行抽样的条件 ……………………………………… (129)
附件 6 一些有用的地址 …………………………………… (134)
附件 7 土壤复位厚度的计算 ……………………………… (137)
附件 8 叶片取样及分析步骤(泰勒,1991) ……………… (139)
附件 9 选择无机污染物的触发浓度(ICRCL,1987) …… (142)
附件 10 与以往煤燃烧场地有关的污染物的暂行触发浓度(ICRCL,1987) ………………………………… (144)
参考文献……………………………………………………… (146)

第一部分

复垦中存在的问题

第一章 英国的复垦

一、为什么要复垦

英国是人口比较密集的国家，土地资源非常珍贵。然而，1988年对废弃地进行调查的结果表明，英格兰有 4.05 万 hm^2 的废弃土地（环境司 1991 年资料）；苏格兰大约有 7 400hm^2 的废弃土地（苏格兰办公室 1990 年资料），这些数字是很大的。这些土地实际上是荒废的，没有被利用，而且废弃土地面积在不断增加。例如，在 1982 年到 1988 年间，仅英格兰就增加废弃土地 1.1 万 hm^2（环境司 1991 年资料）。

所谓废弃土地，主要是指被大面积用于开矿的土地（见插页图片①～④）。1988 年，在英格兰大约有 6.7 万 hm^2 土地受到开矿的影响，有的是在地表面进行开矿（5.3 万 hm^2），有的是作为矿渣废物处理场地（1.4 万 hm^2）（环境司 1991 年资料）；在威尔士，大约有 1.1 万 hm^2 土地受到开矿和废物处理的影响（威尔士办公室 1991 年资料）。现代立法规定，受采矿影响的大多数土地，只要规划许可，都应确保适当复垦，使其能后续利用。然而，在英格兰这么大面积的废弃土地（4.7 万 hm^2）上，几乎没有看见复垦的迹象，大部分土地在采矿停止后都被废弃了。图 1-1 是英国的主要矿区类型分布图。

废弃土地除没有生产能力外，还有其他原因使废弃土地令人十分厌恶。废弃土地会造成危险，这种危险包括废物堆滑坡、旧楼倒塌、石料场采石面崩塌或者有化学污染物的外漏危险等。有些废弃土地有造成火灾的危险，而另一些废弃土地或许有潜在爆炸



(a) 砂岩



(b) 石灰岩



(c) 火成岩



(d) 砂砾岩

图 1-1　英国主要矿区类型分布

的危险。废弃土地通常是破烂不堪的(见插页图片①～④),因此给毗邻地区带来很不好的影响;新工业区和家庭住宅建筑都不会在这些地区兴建,从而也不利于该地区的经济繁荣。

在受开矿影响的土地或废弃地上是可以种植物的,但几乎没有什么生产力。自然的移植有时也会形成一些林地,但需要几十年的时间(Finegan,1984)(见插页图片⑤)。在大多数情况下,对废弃土地置之不理是一种不当的做法,应采取“复垦”的方法进行处理。

所有这些理由均应考虑政府对废弃土地的复垦政策。在过去的 12 年里,英格兰的环境司、地方当局和工业部门为复垦 15.7 万 hm^2 的废弃土地花费了 7.5 亿英镑(环境司 1991 年资料)。如今这些土地已产生良好效益,有的用于农业、林业、环境休闲或用做自然保护区,称为“软”土地利用;有的用于工业、建房,称为“硬”土地利用。

二、为什么要把废弃土地复垦成林地

考虑把废弃土地或采矿区复垦后采用造林的方式进行土地利用的原因很多。现如今正地探索复垦后用于农业。与以往不同的是,复垦后的土地利用考虑多种选择,包括林业,这样,意义就更大。林地作为土地利用的一种形式,可以创造除木材生产之外的许多效益,如美化环境、为森林野生动植物提供重要的栖息场所等;森林同样也可以为人们提供平静悠闲的休息场所。在许多地区,木材生产虽仍然是造林的最主要目的,但以上提到的其他方面也非常重要,仅次于木材生产。

土地复垦后进行造林建设益处很多,可以提供一般植树所具有的特殊和附加效益,而下面是其主要的效益。

(一)生产木材

英国是欧洲国家森林覆盖面积最小的国家之一——大约只有

10%的地面被森林覆盖,而欧洲平均林地覆盖率为25%。结果是英国所生产的木材仅占本国所需的10%,每年需花费近70亿英镑进口5 000万 m^3 的原木。1990年,英国食物、燃料和机动车辆的花费之和刚刚超过进口木材的花费(林业委员会1990年资料)。由此可见,把废弃土地改造成林地,尽管面积不大,仍可为减少原木进口做出贡献。

把人造场地进行复垦后,是可以种植出成材树木的(见插页图片⑥)。例如,60年代在许多煤矿废渣场上种的树木,现已可以采伐,成为有用的木材。在许多地方,针叶林是最常见的易成材树种,因为它们更适宜在比较贫瘠的土地上生长。但为了繁衍野生动物或为了观赏,一些地方也选择阔叶林树种。阔叶林树种可用于生产一些有用的木制品,如镶嵌板、车削工艺品、燃料木、木片等或用于造纸。

在许多情况下,林地的建设与管理能够得到林地援助项目的拨款支持(见附件1)。要从种树中获得回报,在很大程度上取决于土地的位置及树种情况、临近的市场、市场价格和木材需求量。对许多适合复垦的矿区和废弃土地来讲,经济回报是有指望的。

(二)野生动物栖息地

未曾复垦的矿区和废弃土地有时也能成为有价值的野生动物的栖息场所(Davis,1976;Greenwood & Gemmell,1978)。事实上,一些场地已因自然繁殖而成为动物的重要避难场所,应该把这些场地加以保护。通常来说,废弃的土地未经改良不能使用。把土地改造成林地或者混合利用林地,可以为规划和开辟野生动物的栖息地创造理想的条件。然而,要想在废弃土地上实现可靠的土地利用或用于"农业"是非常困难的。但是,英国仍有许多在林业复垦土地上实现上述目的的典型实例。

在迪恩林区的沃尔格林复垦后的露天煤矿区就是一个很好的例子。人们把废弃的露天煤矿区复垦成和谐的林地,结果这些林

地又成为有价值的野生动物栖息地(见插页图片⑦及附件2)。在南威尔士,一些新改造过的场地现在也已成为动物栖息的重要场所。在树木尚未郁闭的露天煤矿复垦区,鸟儿已被吸引来了(Dawkins *et al.*,1985),在露天矿区的湿地,许多树种被引种发展成林地(见插页图片⑧)。

通常是根据复垦地的情况选择适宜的树种(见第六章),当然也可以考虑树种对野生动物的价值。对于没有表土的土地,制定种植规划时,应首选种植桤木、白桦树、柳树和花楸。这些树可以吸引许多鸟类。针叶林地也可以吸引众多的普通鸟类和稀有鸟类(Avery & Leslie,1990)。

(三)创造娱乐场所

林地越来越成为人们休闲活动的重要场所(Benson & Willis,1991),近期,国家审计办公室已批准同意建一些林地,即供人们休息的公共场所(1986)。1990年,乡村委员会和林业委员会社区林地协会,开始在人口密集的城市中心地带或附近,根据需要有意识地有选择地建设林地(见图1-2)。许多矿区和废弃地计划复垦种植林木,就正好可以作为这样的林地。

英国有许多这样的好例子,在复垦地上大量种树,然后,把它变成有价值的国家公园。如在格温特郡(Gwent),安凡·阿尔戈德(Afan Argoed)国家公园进行的阿尔戈德复垦计划(Argoed Reclamation Scheme)向人们展示如何复垦,树木能为人们创造出舒服的休息和娱乐场所(见插页图片⑨)(Reaney,1990)。

(四)社区参与意识

在社区附近已复垦的土地上种植树,应让当地社会各界参与,例如制定社区林地规划。该项规划主要是鼓励当地居民参与他们共同拥有的林地的管理。这种共同参与的最大好处是创建良好的公众关系,减少破坏的程度,增加责任感。另外,还可以提高居民们对树木的认识与判别。他们可以参与营造周围环境的决策,并



图 1-2 英格兰社区森林位置

积极为创造良好的环境做出自己的贡献(Johnston,1989)。参与社区林地活动为社区的社会生活带来益处,可以增进居民之间的社会联系与交往,同时为居民聚集在一起营造一个良好气氛。约翰斯顿(Johnston,1989)进一步阐述了社区居民是如何积极参与当地林地管理的。

(五)改造地貌

大多数人认为废弃地和矿区是丑陋的。因为即使复垦之后,土壤虽然被置换了,这些地区与周围的乡村相比也还是荒凉的。由于工程的原因,新形成的地貌通常是非自然的。排水渠和道路会频繁地切断其他已形成的平坦地形;土壤的贫瘠会导致人们不合理的施肥。上述这些均会使地貌外观很不自然。

大面积废弃土地的复垦方案应力图与改造该地区周围的地貌相协调。可是,许多矿区周围都是未恢复的废弃地或者是其他矿

区。即使这些矿区按照人们所预想的那样得到恢复,他们只能是周围其他被破坏土地中的一块绿洲。矿区的复垦运作是分阶段的,矿区的一端在采矿,而另一端却在复垦,这样,可能达不到最终所期望的复垦效果,除非等采矿活动全部停止后再复垦。

种树有助于减少或消除上述不足和问题。快速生长的先锋树种可以用来遮盖矿区丑陋的地表,如在选煤厂或水泥厂周围营造防风林带。种树可以非常有效地把矿区弃土场遮盖起来,不必要对废渣进行分级,因对废渣分级这项工作做起来花费昂贵。在复垦区,林地种植树木的结构、距离将会影响模糊粗糙的工程地形或特性,如果设计合理,可以使矿区的良好地貌与周围乡村或城市的环境相协调。第五章可以为如何进行人工场地林地的设计提供指导。

(六)工程作用

人们越来越意识到生物措施能发挥重要的工程作用。生物对土壤表层和深层均有着直接的影响。对表层,可以起到保护和限制土壤材料的作用;对深层则可以起到提高土体的强度和能力的作用。植被可以从根本上影响土壤湿度(Coppin & Richards, 1990)。当进行复垦区最终土地利用规划时,要考虑场地种树所能带来的巨大效益,特别是那些场地限制因素,如地形条件及场地上的弃土材料会使工程处理难以达到安全。下面是树木可能影响的主要场地特性。

(1)截留雨水。雨水的截留程度由年降水量及其季节分配来决定。据测定,英国高地针叶林的雨水截留率在0.19~0.62之间变化(Maitland *et al*.,1990);而阔叶林的雨水截留率在通常比较小,变化范围为0.1~0.36(Hall & Roberts,1990)。现在人们已普遍接受了这种认识,即与草地和农作物相比较,针叶林能有效地减少地表径流,在英国的一些地方,阔叶林也可起到同样的作用。减少地表径流在复垦区的宣泄,这对水蚀敏感的土壤和弃土物质

来说是极其重要的。在填筑的场地，淋滤产物数量直接与有效降雨数量有关(见第八章)。

(2)暴雨水文。由于已形成郁闭结构的林地，河流的暴雨径流过程线的峰值被大大地削弱，径流速度也相应地降低(Coppin & Richards,1990)。

(3)土壤侵蚀。在防止风蚀和水蚀方面，对倾斜地层来说，林地的管理比可耕地的种植管理更为可取，因为树木覆盖通常能保护土壤免受风蚀和水蚀。但在侵蚀敏感性材料如粉化的燃料炉灰(见第九章)上种树，最初几年需特别小心。

(4)约束土壤。在树根直径为1～12mm时，就可以防止由重力、水和风对土壤颗粒造成的位移。而树身能挡住不稳定的或松散的巨砾和石头，防止它们下滑(Coppin & Richards,1990)。

(5)减少土壤湿度。植被包括树木能明显地改善土壤水分状况，与没有植被覆盖的土壤相比，其土壤含水量会减少。结果是，对饱和土壤，其孔隙水压力减少；对未饱和土壤，其吸水量增加(Coppin & Richards,1990)。

(6)增加土壤剪切力。树根能明显增加土壤的剪切力(Coppin & Richards,1990)。

(七)成本

复垦废弃土地，从建设到维护直到各种最终“软”土地利用(包括林地)，所需成本都需经环境司审批(土地生产能力咨询,1989)。表1-1给出了复垦计划所需的平均成本。通常来讲，把复垦区建成林地所需的成本要比用于农业、娱乐或者公共空地所需的成本少得多，因为花费昂贵的场地平整、表土运入及地下排水设施均不需要。

林地的维护费用相对其他土地利用类型要少一些。图1-3表示不同土地利用类型的年总维护费用与建设费用之间的关系。有趣的是两者之间有着必然的联系，小片公共场地和娱乐场地的建

表 1-1　　把土地复垦成不同土地利用类型时的平均总成本

（土地生产能力咨询，1989）

土地利用类型	图 1-3 中对应的点位	总成本(英镑/hm^2)
公共空地	1 类 ＜0.5 hm^2	47 100
	2 类 1～2 hm^2	14 400
	3 类 5～10 hm^2	11 500
	4 类 ＞10 hm^2	9 100
农业用地		16 700
林地		10 000
自然保护地		4 100
娱乐用地		24 400
混合用地		12 000

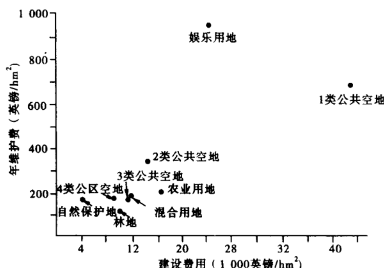


图 1-3　不同土地利用类型建设和维护所需成本

（土地生产能力咨询，1989）

设及维护费用均是非常昂贵的。林地的年维护费在所研究的土地利用类型中是最低的。由于人们不愿意或者不能在维护上投入时间、人员和经费，因而常导致一些复垦工作不能够实现预期的目标，因此大多数的林地计划要求低水平的维护才是十分重要的。在所研究中的最终土地利用类型中，如果想保持较低的维护费用，选择林地是最明智的。然而，即便如此，在各种林地计划中，仍需要进行一些必要的维护(见第六章)。

三、立法背景

第二次世界大战以前，国家几乎不能控制采矿地点。许多石场和露天矿区都被开采，而很少采取复垦措施，采矿区成为废弃地的重要组成部分。英国中部的铁矿工业特别活跃，这是由于第二次世界大战期间，英国的铁矿主要靠当地提供，导致近1 500hm^{2}的小山及溪谷成为废弃地。这些废弃地主要集中在北安普敦郡(Northamptonshire)。议会委员会对此进行了若干次讨论，认为有必要对废弃铁矿区进行复垦，随后出台了《采矿法》(1951)。该法律规定，采矿者有义务对矿区进行复垦。

作为战争时期的紧急措施，在《防御总条例》(1939)指导下，1942 年开始进行煤矿露天开采，其目的是为了增加当地煤炭的开采量。可是，战后，这些露天煤矿开采的产物——未进行复垦的场地是不受欢迎的。1951 年和 1958 年相继出台了《露天采煤法》，并于 1951 年开始规划对露天矿区进行恢复。在英国的许多地方，由于深开采造成许多场地用来堆放煤矿废渣，从而增加了废弃土地的面积。1978 年，在南威尔士，仍有 291 块废物堆放场地，这些仅占全英国所有废渣堆放地的 25%(能源环境委员会，1981)。1974 年，英格兰煤渣堆放场地的面积超过7 500hm^2。

自 60 年代以来，英国颁布了若干部法规，主要是为了鼓励复垦，以减少废弃土地的面积。它包括《地方政府法》(1966)、《威尔

士发展行署法》(1977)和《废弃土地法》(1982)。最后一部法规规定对那些废弃的、被忽视的和丑陋的土地进行复垦,应给予财政支持。

《城镇和乡村(矿物)法》(1981)是主要的土地保护法之一,目的是限制矿区开采造成的废弃地的数量。而先期的《城镇和乡村规划法》主要是对采矿开发进行早期控制。而1981年的《城镇和乡村(矿物)法》明确了采矿规划局在控制采矿对环境影响方面的权力。该法还给予了采矿规划局新的权力,即强制开采部门采矿后对矿区进行复垦和维护(环境司,1989)(见第五章和第六章)。这些权力也包括在《城镇和乡村规划法》(1990)中。

采矿地表面的复垦包括用采矿后遗留下的废弃物进行填筑。法律规定主要是针对不同的回填材料,如采矿厂、料场废弃物或者居民、工业废弃物或者商业废弃物均可作为填筑材料。如果利用后面三种废弃物进行填筑,需要办理废物处理许可证,这是废物管理许可条例规定的。是否可以用采矿、料场废物或者居民、工业废物或者商业废弃物来作为填筑材料,均用立法的形式来进行制约。《城镇和乡村规划法》(1990)、《环境保护法》(1990)、《规划和补偿法》(1991)中,地面废弃物的处理包括矿物废渣的回填,均有进一步的规定。《规划和补偿法》规定用废弃物处理过的土地应归国家所有,作为农业用地或林地。

四、森林和采矿工业

在大不列颠的许多地区,林业及林业委员会的发展历史与矿产工业的发展有着无法分割的联系。古代许多狩猎林地都位于矿产资源丰富的地区。例如,在迪恩(Dean)林地,自罗马时期就开始开采铁矿和煤矿,铁矿开采工业在1900年基本结束,而煤矿开采至今仍在进行。冶炼铁矿石主要需要木炭,从而导致大量森林被砍伐(Hart,1966)。威尔德(Weald)的铁矿工业非常繁荣,其工

业发展要追溯到2 000年以前，当地人们因生产木炭而从大量的木材中获得了丰厚的利润。自 40 年代以来，在中部地区有很大比例的铁矿区已开始种树(Newton，1951)。

近期，在一些重要林区，砂砾石工业也非常活跃。特别是在英国南部高原被砾石覆盖的地区，林业委员会自第一次大战后开始在这些比较贫瘠的土地上营造针叶林。例如，在布拉姆舍尔(Bramshill)林地，自 1970 年就开始在林区开采砂砾石并且延续至今，但开采后随即恢复成了林地。

在英国，深矿采煤的传统作业法是用木桩作矿井支撑物，许多地方都对矿区弃土堆进行复垦后植树。在南威尔士，第二次世界大战前就有在煤矿区废墟上植树的传统。林业委员会自 1958 年开始也积极参与威尔士露天煤矿区的林地复垦建设(Broad，1979)。其主要原因在于：一是露天开采矿区原本就是全部或者部分被树木覆盖，二是从历史延续下来，在采煤后，易恢复成林地，而很难恢复成其他用途的土地。

五、林业委员会对复垦的研究

林业委员会直接参与了在废弃的人工填筑土地上植树，并且对种植方法进行了观察，以及积极的探索和研究，不断改善在这种土地上植树造林的方法。

早期的研究工作主要是对已植树造林的铁矿区(Pinchin，1951)、煤矿区(Pinchin，1953；Wood & Thurgood，1955)等露天采煤区弃土场进行评价(White，1959)。对树种的试验，主要是在不同的母质上进行的，如砂砾石矿区(Wood *et al.*，1961)、粉煤灰矿区(Neustein & Jobling，1969)、煤页岩(Neustein *et al.*，1968；Neustein & Jobling，1969)。改变场地的正规试验早在 70 年代就已正式开始，即在砂砾石(Jobling，1972，1973；Binns & Fourt，1976)和露天煤矿区(Broad，1979)进行耕作和施肥试验。

在70年代末和80年代，受政府机构的委托，研究工作有所加强。1976年，环境司委托有关单位用特定标准对废墟更新土坡上的复垦林地进行了考察(Jobling,1977)。国家煤炭局露天开采执行部也进行了类似的露天开采矿区造林考察(Jobling,1978)。随后，环境司也开始资助一些研究工作，如树根发育与煤矿区废渣的物理和化学特性的关系研究(Jobling,1979)，在这种土质下，改善林木建设与生长的造林学研究(Jobling & Varcoe,1985)。环境司另一项研究是评价矿区复垦为林地的现状，为中央和地方政府以及矿物工业提供指导(Wilson,1985)。

试验工作还包括对相关方面的开发和试验(Fourt,1978)：对深30m的沟垄地形进行试验(Fourt & Carnell,1979)，同时还对固氮植物进行试验(Fourt,1980a;Fourt & Best,1981,1982)；对土壤的填筑方法进行调查(Fourt,1984)，并开始研究在复垦地上使用污水污泥(Taylor,1987;Moffat & Roberts,1989 a)。研究工作仍朝着这些方向继续进行。

自80年代中期以来，着重研究新领域，包括在露天煤矿区的废弃物上复垦，详细研究场地因素对树木生长的影响，并对在填筑土地上造林的潜力进行评价(为环境司提供服务)。

本书收集了过去40年来有重大价值的研究规划和丰富经验，这些经验对废弃土地的复垦是非常重要的，造林是土地复垦的一种很重要的选择。

第二章　废弃土地面临的挑战

一、概述

工业和采矿活动不可避免地会对其场地和植被包括树木带来影响，而且几乎所有受影响的土地都相对贫瘠。可喜的是，人造场地上从事规划或实施种树计划的人们已意识到这些不同类型的场地的特殊性。不是所有的土壤属性都可以用肉眼直接观察到的，还需要进行一些探索研究，来弥补现场观察的不足(见第三章)。这里主要对与造林和生长有关的场地特性进行讨论。

二、土壤的物理特性

与已栽植很久的林地下未经扰动的土壤相比，人造场地的土壤在结构上总是比较差的。这是因为复垦区的土壤往往受到了扰动和移动，或者受到了机械和车辆的重荷载碾压。土壤材料也许有其他不良的特性，如致密的结构或含石量。土壤的组织、含石量和结构都会影响树干到树根的生长，并影响水分和营养的吸收。

(一)土壤的组成

土壤的组成表示土壤不同大小颗粒的平衡——颗粒大小的级配，它也许是土壤所有物理特性中最根本的特性。它不受土壤管理的影响，相反，对土壤如何管理影响很大。土壤根据颗粒的大小通常分为三种：沙质土、粉沙土和黏土。在英国，通常把粒径大小为 60～2 000μm 的土粒定义为沙粒，粒径为 2～60μm 的土粒定义为粉沙粒，粒径小于 2μm 的土粒定义为黏粒。几乎在整个英国，土壤都是由这三种粒径的土壤颗粒混合组成的。壤黏粒土是一种

典型的平衡良好的土壤。沙质土主要是由沙粒大小的土壤颗粒组成，黏土主要是由黏粒大小的土壤颗粒组成的土壤。

土壤组成对土壤的大多数物理特性有间接影响，特别是对土壤通气和持水能力有影响。

(二)土壤的含石量

通常把直径大于2mm的土壤颗粒定义为石子。绝大多数的天然土壤中都含有石子。人造场地也会含有石子大小的材料，并且是具有不同特性和数量。例如，大楼拆除后复垦的土地上可能会含有砖头、混凝土和砂浆；沙、砾石矿区复垦后的土地常有特别多的石子。石子太多的土层会阻碍或影响树木的种植，进而影响树根的生长和树干的稳定(Cutler，1991)。土壤中若有巨砾般的石子，那么使用机械进行耕作就会非常困难。另外，许多石头如燧石或石英岩会影响土壤的持水能力，哪怕是较小数量的这种石头，也会降低整个土壤体积中的有效持水量。这个影响对植物是很重要的。因此，为了使林木能够在人造场地上持续生长，除应考虑土壤材料厚度，也应考虑土壤的含石成分(见第五章)。

(三)土壤结构

土壤结构主要是指土壤中固体颗粒的配置。大多数土壤都是由孔隙、裂缝和裂纹配置成不同的结构单元。而这种结构配置会影响土壤的孔隙率和持水能力。在自然条件下，土壤结构的形成需几十年或上百年。可是，人类的扰动会很快并强烈地影响土壤结构，而且常常是有害的扰动。

大多数土壤因废弃或受采矿的影响，将变得比扰动前更为压实。换句话说，就是土壤中的孔隙率在不断地减少。压实通常是由地面荷载造成的。在通常情况下，土壤要遭受重型机械的碾压。重型轮胎的箱式铲土机对土壤的压实特别明显(见插页图片⑩)，而且能对土壤施加2～3kg/cm^2的静压力(Downing，1977)。另外，行走的轮胎或轮面所产生的剪切应力，对土壤同样有压实作

用，而且相当于2倍的静荷载力(Greacen & Sands，1980)。铲土机对地面的压力要比履带车大得多，并且轮子打滑时对土壤的抹平作用也会破坏土壤的结构。

土壤的剥离和堆放也会造成土壤的压实。在现代矿区，土壤通常堆放4～5m高。这些都是使用箱式铲土机和推土机来完成的，堆放的土要经过小心的转运而使之比较稳定。另外，随着堆放土高度的增加，土壤自身的重量也会导致土壤的压实；在恢复期间，土壤材料的还原也会造成土壤的压实(见第五章)。压实会导致土壤物理特性发生以下五个主要方面的变化：

a. 阻碍树木根部的发育；

b. 缩小孔隙间距；

c. 降低土壤持水能力；

d. 减少通气性；

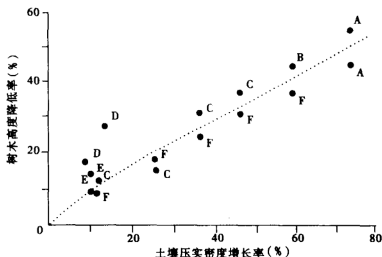
e. 减少土壤水的流动和土壤空气的交换。

另外，压实作用也会影响土壤的化学特性和生物特性。

树木需要在土壤中有效地扎根来吸取水分和营养以求稳定。如果土壤压实限制了树木根部的生长，那么也会影响地面上树木的生长。图2-1清楚地显示了增加压实度对三种树木根部生长的影响；由于压实度增加，树木根部向下穿透的能力就迅速降低。

压实还会减少土壤整体的孔隙度，使土壤更加厚重结实。土壤在被压实时，大的孔隙被挤压，造成有效水分(即在植物生长季节抵抗重力有利于植物吸收的水分)的减少(图2-2)。压实的土壤通常比较容易干旱，尤其在夏季，压实土壤要比未压实的土壤干得更快。

在冬季，压实的土壤还存在严重的排水问题，因为它们的排水孔隙和裂纹系统都丧失了。在扰动土壤的剖面上，压实区往往会出现上层滞水水面，造成土壤上部渍水。而土壤渍水会影响植物根部的健康生长以及其他生物的活动。



A－松属,1年;B－杉属,1年;C－杉属,8～10年;
D－杉属,4年;E－杉属,5年;F－美国黄松,17年

图 2-1　土壤压实对树木高度生长的影响

(Froehlich & McNabb,1984)

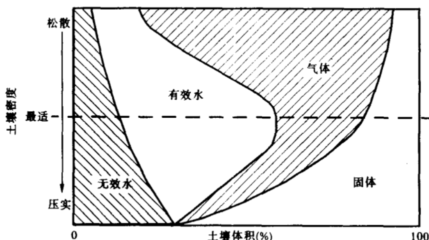


图 2-2　不同压实度时的土壤组成(Wilson,1985)

压实的另外一个后果,就是降低降雨时土壤吸收水分的能力。这会妨碍在较湿润的冬季土壤水分的再补充。结果是地表径流增

加,土壤水蚀的危险增大。压实堆放的土壤的侵蚀就是这种现象的典型例子,它会造成有价值土壤材料的损失,而这些土壤在开矿后可以作为复垦还原的土壤材料。

三、缺乏表层土

在废弃地和矿区,一个关键的问题是,用于复垦的表层土不足或者完全缺乏。在许多情况下,植树时应考虑到表层土的欠缺。表层土明显缺乏时就不能考虑其他的土地利用类型(比如农业),然而,可以考虑恢复成林地,这已是事实。表层土一直被视为非常珍贵的资源,它能给复垦带来很大的灵活性,特别是在树种选择方面(见第六章)。

缺乏表层土的场地通常也缺乏氮素。而氮素与有丰富有机质的上层土壤层(定义为表层土)相关联,亚层土或覆盖层则几乎不含氮肥。如果缺乏表层土,那么树木健康生长所需的磷也会同样匮乏。如果氮、磷缺乏,那么树木的生长就会受到严重影响。插页图片⑪是一个典型的实例,可以看出在南威尔士露天开采的煤矿区复垦地上,由于表层土缺乏氮和磷元素,对扭叶松的生长造成了不良影响。

没有表层土,树木就必须种在亚层土或者其他成土材料上(见第三章)。在矿区开挖时,这些材料也许会与覆盖层或岩层材料分开。那么营养的供给就要完全依靠用于替代土壤的各种类型的材料。对植物营养的供给方面,钾、镁、钙通常都是充足的,但有些下层土也有可能导致营养供给的不平衡。如菱铁矿区的下层土对磷的缺乏十分敏感,因为覆盖层中磷的含量与铁矿的关系紧密。如果树木种在碱性材料上,如石灰石或白垩废弃物上,或粉煤灰上,就会缺乏微量营养元素,特别是缺乏铁和镁。因为这些营养元素在碱性环境中很难溶解。其他微量营养元素很少缺乏,但某些岩性的土也可能缺乏微量营养元素。

还有一些废弃物可能会给树木带来营养物毒性。大家所熟知的煤灰中含有大量的硼,而硼会严重影响树木的生长。在英格兰西南部的金属矿废弃物上,微量营养元素如锌的含量很高,并且与其他重金属结合在一起(Thornton,1991)影响植物生长(见插页图片⑫)。有些煤矿的废弃物由于黄铁矿氧化变得酸性很大(见第九章),在许多情况下易导致树木死亡(见插页图片⑬)。有关废弃物营养问题的具体类型详见第九章。

四、水文条件

人造场地土壤经常遭受水渍,其原因有多种。例如,在许多沙、砾石矿区,地下水位较高,接近于地表面,如果复垦时不进行填筑抬高,复垦后的地下水位就要比开矿前更为接近地表面。此时可采用"低水位"法进行复垦,即通过经常抽水,降低地下水位。虽然在英国也许找不到这样的例子,但这种复垦形式已在造林后的土地利用中实施了。

有些场地常采用小比降的简易排水系统。例如"河阶地"的沙、砾石矿区,邻近铁路和渠道的许多废弃地。渍水也是拥有黏重组织土壤(如黏土)地层的一种特征,特别是在冬季的较湿月份。这些土壤材料在雨后变湿,但再变干就非常慢。砖厂的场地复垦及其相应的排水状况就是其中的一个典型例子。

无论什么原因造成排水不畅,都会影响树木的成活和生长。几乎所有的树种都需要一个通气的根部区域来适应根部的生长,只有很少一些树种如杨树和柳树可以通过树茎来获取氧(Gill,1970)。就是桤木也是在通气的土壤中会生长得更好一些(Hook *et al.*,1987),因为根的固氮能力取决于土壤中的微生物,而微生物的生存又依赖于土壤中微生物与氧的共生关系。如果树木耐不住渍水的土壤条件,树木的根只能扎在表土层的需氧区。如果表土层比较浅,树木就容易受夏季干旱和风力的影响,生长不稳定。

在极端的情况下，树木会因夏季水分的供不应求而死亡。

五、气候条件

英国大多数地区有这样或那样的矿产资源，但有些矿产资源位于气候特别严酷的地区。例如，康沃尔郡(Cornwall)的高岭土废弃物，位于海拔高度300m的地方，气候湿润，风大，年降水量在1 200mm以上(Moffat & Roberts，1989b)。在南威尔士和南苏格兰的露天煤矿区，降水量大并且土地裸露(见第九章)。相反，在埃塞克斯和肯特地区，有许多废弃的土地，气候则相对干燥(年降水量小于600mm)。大多数面积比较大的人造场地要比未经扰动的土地暴露得多，这是因为通常缺乏植物篱、林地和防风带。

严酷气候条件对林木建设和生长有着重要影响。在裸露的土地上种树，选择树种时限制比较多，因为树木的生长条件相当差。在高岭土废弃物上，莫法特及罗伯茨(Moffat and Roberts，1989)发现，当土堆的相对高度超过30m，在裸露的阳坡上北美云杉生长要慢得多(图2-3)。在降水量大的地区，雨水会使土壤发生输运移

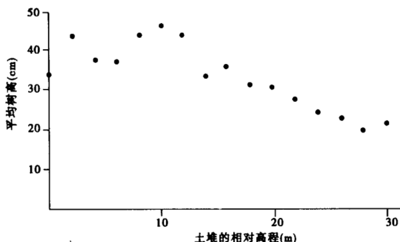


图2-3 在康沃尔郡高岭土废弃物上种植的云杉生长高度与高程的关系
(Moffat & Roberts，1989b)

动，给耕作造成困难，使种植难以达到最佳状态。此时，做好排水设计则是不可缺少的。而在降水量小的地区，掌握种植时间和控制杂草生长是避免干旱的关键（见第六章）。

六、土壤污染

从广义上讲，所有曾经用于工业目的的土地都有可能被污染，因为有外来物侵入。特别是有些场地可能被过去和现在正在使用的外来物污染。例如，化工、天然气工程、炼油、造纸、印刷、金属矿、冶炼、铸造、金属加工等都会对土地造成污染（英国标准所，1988），当然上述列举并未囊括全部。邻近这些活动的场区的土地也可能受到影响。在南威尔士，一些位于冶炼厂和有色重金属精炼厂下风向的土地就受到了影响（Goodman & Roberts，1971）。

当然，一个地区污染物的出现并不意味着危险的存在，或者对种的树、参与种树及维护林地的人有危险。如果有些污染物质污染了食物，就会给人们的健康带来危险，但也许不会影响到树木的生长。有些污染物，如石棉，如果埋在地下对树木的生长没有影响；可是有些污染物包括一些重金属，对蔬菜甚至树的生长都有不良的影响。

在评估该场地是否可以种树时，常常要考虑有无严重污染物的存在，一旦有人发现或提出这里有污染物，就必须作彻底的检查，确保无误（见第七章）。

七、生物活动

土壤中的生物体和有机物是土壤生态系统发展和维持的根本。这些生物体可以是蚯蚓和节肢动物，或者是包括细菌、菌类和藻类在内的微生物。土壤之所以能不断地供给植物生长所需的营养，主要是依靠这些生物体对土壤中的有机质进行分解和矿化，变成植物可利用吸收的成分。土壤生物体在土壤结构的形成和维持

上扮演着重要的角色。

人造土层与未经扰动的土壤相比,生物体数量及有关活动均较少。有机质是土壤中大多数生物体的主要能源,而人造土层缺乏有机质,大多数覆盖层和成土材料也是如此,因而只能维持一少部分生物体生存。特别是化学作用可能会进一步遏制土壤生物的活动,如在酸性煤矿废渣中生物活动就会受到制约。渍水或压实作用造成的厌氧条件可以维持一批不同类型的生物体生存,从而产生需氧条件。但厌氧细菌的活动同时会产生一些副产品,如甲烷、乙烷、硫化氢、一氧化二氮、脂肪酸、酒精、酯。这些副产品会危害树木和其他植物的生长(Craul,1985)。

有些类型的污染物可能会限制生物有机体的活动。如果上述污染超过临界浓度(Bååth,1989,Bengtsson & Tranvik,1989),那么,土壤中的微生物体和无脊椎动物都会受重金属的影响。有机污染物如油或易溶解物,也会给土壤中生物的活动带来严重的影响。

八、空气污染

许多人造场地靠近或者就在市区或工业开发区,有的开始尝试种树,有的开始制定未来造林计划。在英国,由于这些地区长期从事工业生产,空气受污染已数十年;这种污染带来的残留物增加了受影响土壤中的重金属的含量。例如,在南威尔士的污染地区,北美云杉的树叶由于受到空气中高浓度镍的污染,树木生长畸型(Burton *et al*.,1983)。同样,在奔宁山脉工业区,由于释放到空气中的氧化硫严重超标,迫使 50 年代的造林工作搁浅(Farrar *et al*.,1977;Lines,1979)。

1954 年和 1962 年先后颁布的《净化空气法》,对释放到空气中的气体加强了控制,虽然来自某些点污染源的总的污染没有减少,但现代污染及来自空气中的金属污染源已很少了。有些工业

区仍遭受空气污染之苦，同时也会影响树木的健康。例如，在贝德福德郡(Bedfordshire)的砖厂，经测定氟化物和二氧化硫都对树木的生长有害(Gilbert，1983)。可是，通常在大部分地区，在复垦土地上种树时，人们往往忽略空气污染这个问题。

我们还经常注意到料场运作中所产生的灰尘的影响问题。在分期分批进行开矿、复垦的地区，灰尘对早期复垦场地上种的树可能会有影响。石灰石和水泥灰尘对树木生长的影响最大(Farmer，1992)，但在其他矿区，关于灰尘对树木生长影响的描述可能有点夸大(罗伊沃勒协会，1991)。

九、动物破坏

在复垦的废弃地和矿区上植的树往往会遭到许多不同动物的破坏，如啮食嫩叶；从某种意义上说，动物对复垦地上植物的破坏可能比一般的场地更严重。河岸、土堤、裸露的料场常是兔子理想的栖息地。在许多贫瘠的场地，植被稀少，种下的树往往可能是惟一的绿色物质，从而会吸引野兔、鹿和羊来到这里。种草可以稳定土堤，但也可以为田鼠提供庇护所，而田鼠随后会破坏邻近土地上种的树木(Hilton，1967；Radvanyi，1980)。在场地复垦中，海鸥对植物的破坏也是土地填筑操作中一个普遍存在的问题，海鸥甚至有可能会把新种的植物连根拔起(Gawn，1991)。无论动物的哪种破坏都是非常严重的，应提前预防和控制(见第六章)。

十、植物之间的竞争

如果在新种植的树周围有生长旺盛的其他植被，必须很好地对其生长场地加以控制，否则，新种的树木就会受到影响(Davies，1987；Potter，1989)。在废弃土地或在采矿后的土地上进行复垦，如果杂草品种不同，可能产生的问题也不相同。如长得很高的一种木本豆类草木犀能很快侵入一些新恢复的场地，并能替代种在

那里的树木。款冬是生长在复垦区的很普遍的一种侵占性植物，易侵入其他地方，而且长势很猛，对树木生长造成很大的危害。由于邻近地区种子脱落而造成的树木的自然侵入对于有计划的造林种植也会带来麻烦。在复垦地上种树之前需要清除所有的杂草（见第六章）。

有些杂草如荆豆和金雀花等所生长的场地如果靠近市区，还可能带来火灾的危险。

十一、破坏

人造场地上种植的树易于受到破坏，特别是位于场地改善非常显眼的废弃地上。种树本身不能阻止破坏，只能通过种树的选择、苗木的选择、种植密度和种植设计的选择来制止破坏（见第六章）。

第二部分

矿区的复垦

第三章　采矿前的准备

一、概述

正如第一章所描述的，目前采矿行为已通过规划、立法加以严格限制，而且人们已普遍接受开采矿产后进行复垦和养护工作。然而，要使土地复垦获得成功，就必须在采矿前认真考虑有关事宜。这一章将对开矿前应注意的问题加以阐述，包括林业局的法定作用，以对采矿规划和其他有关单位提出合理建议，同时也给那些正在考虑砍伐林地准备采矿的人们以及采矿后准备复垦的人们以忠告。

二、准备规划申请——场地调查

采矿前，首先要考虑的是收集大量的有关开矿场地的详细资料，并且还要考虑采矿后如何复垦这块土地，使其能发挥有效的后续土地利用。依据这类资料矿产规划局（林业局作为法定的顾问）就可以判断造林的后续土地利用是否可行。土地恢复和养护的详细内容见附件 3。

如果建议将造林作为采矿的后续土地利用类型，就需要提出详细的规划申请（环境司，1988）。其具体内容如下：

1. *矿床的特性*

(1)将要开采的矿物质。

(2)所有勘探或普查的结果，如钻孔、试验坑等的结果。

(3)以下几个方面的特性、厚度和数量：

a. 表层土、亚层土和覆盖层（包括部分有关的成土母质）；

b.将要开采的矿物质；

c.废弃物或不能销售的其他物质。

(4)试验结果表明的矿床的性质，例如特殊的物理和化学性质。

(5)场地的地质和地形条件，及下列相关条件：

a.土地的稳定性；

b.地下水位；

c.地面条件，包括地表水排泄。

2.材料的处理

经过处理后的废弃物特性和数量的描述，以及处理方法的建议。

3.复垦、养护以及今后的应用

(1)具有比较详细的土壤特性和预期的土地后续利用类型。

(2)场地的等高线和淤积的最后标高。

(3)复垦时要使用的土壤材料，预计分几个阶段以及具体时间表。

(4)假设在复垦期间设想该场地需要用当地材料或外运材料进行部分或全部填筑，需要的填筑材料数量、类型及材料来源，依据《环境保护法》(1990)需要办理哪些许可证。

(5)复垦地排水系统的详细建议，包括永久性水域的建立。

(6)养护建议，即依据复垦和养护的预期时间进程，详述不同阶段的具体工作，如果这些工作不能在几年内完成，需要在养护方案中概括主要的项目。

4.规划和制图

(1)建议的采掘地区，采掘完毕后的标高。

(2)建议的地表面积、矿物堆放的高度和位置、表层土、亚层土、覆盖层土堆堆放的高度和位置。

(3)地貌和复垦的详细情况包括复垦场地的最终标高。

进行专业场地调查时很有必要把土壤资源、成土材料的鉴别、水文地质和水文勘测等的调查资料收集起来。

(一)土壤资源调查

土壤是矿区复垦最重要的资源。正因为它很重要,因此在开矿前,操作员必须对该场地的土壤类型、位置以及数量了如指掌。惟有这样才可以明智地做出有关采矿前各个方面的决定。如选用什么机械去剥离和还原表土、土堆的堆放大小和高度、土壤运输的距离和时间等。

虽然工程师、林业技术人员和农艺师对土壤可能都有他们自己不同的定义,特别是对较浅层的土壤,大多数人认为,哪怕是可以用米来计量的相距很近的地方,土壤类型都会不一样。例如,一种地方是砂土,几米之外就可能是壤土,这种情况可能会发生在几乎所有的矿区,会出现几种不同的土壤类型,在恢复期间,对每一种土壤类型则需要采取不同的管理方式。在做土壤调查时,需调查清楚这些不同土壤类型的特点、范围以及数量,并在图上标示出来。这种做法已在采矿后的农业复垦中非常普遍地使用,而且延用多年,但在林业复垦中应用尚属首例。

进行土壤调查的方法很多,它取决于调查的目的、所要调查地区的地形以及进行调查人员的技能。大多数土壤调查是采用钻探,在垂直方向对土壤取样,划分土壤类型的区域,并与观察到的相似的土壤剖面结合考虑。土壤类型的复杂性将决定观察取样的数目。每个场地的土壤调查都应包括土壤组成或土层的颗粒级配、颜色、有机物含量、结构、植物根的含量,通过这些资料就可以把不同层次土壤的体积和类型推算出来。

土壤调查是一项技术性很强的工作,最好由专业土壤咨询专家来做。在未经扰动的场地,有经验的调查人员可以凭经验选定样点,结合直接观察(利用螺旋钻探、土壤坑)对土壤资源进行评价,并通过对地形、植被、土地利用情况的了解来阐述从一个地形

到另一个地形土壤类型的变化。而在已受扰动的场地或废弃土地上,用这种方法进行描述就极为困难,常需要增加土壤样点的观测密度。相反,对于未经扰动的场地,应采用网格观测法,即依据常规的间距预先决定样点,这种方法可以确保样点的均等覆盖,同时还可以估算不同土壤类型的比例。另外,如果进行不可预见的化学分析,以后还有可能返回到原来的土壤取样位置,就需要深化取样内容。土壤调查方法已经过埃费里(Avery,1987)的审查。布里奇斯(Bridges,1987)提供的在废弃土地上进行土壤调查及抽样的详细方法也是一种好方法。

因为土壤物理特性是进行土壤材料剥离、存储和置换的关键。为此,土壤调查要集中在未曾扰动的场地上进行。另外,大多数土壤物理特性的鉴定可以在野外进行。然而,对于受污染影响的场地,土壤的化学特性如重金属的含量也是很重要的,对这些场地需要更多的土壤取样(见第七章)。

(二)成土材料的确定

在采矿或其他工业活动发生后的许多场地,通常都是土壤材料短缺,这种材料常常是要么被埋没,要么被污染,再不就是损失掉。土壤资源调查表明,由于土壤材料短缺,在复垦时,可能会造成一些麻烦,因此,确定成土材料是很重要的,且最好在采矿前进行。

成土材料是指那些能促使树木生长的亚表层土。它们均必须有良好的物理和化学特性,特别是要具有良好的土壤颗粒级配,以促进树木吸收水分;尤其是成土材料还必须是对树木无毒害的。另外,成土材料必须易剥离、存储和置换;很黏的土壤材料在大多数地方是不宜使用的。

应当强调的是"成土材料"正如它们的名字一样,是构成未来土壤的原始材料,可能要花费几十年或上百年的时间去培育。因为它们有可能是从现有地表土下的地质材料中分离出来的,因此

总是缺乏一些植物所需的营养，特别是氮素。在几乎没有有机质的成土材料中，也几乎没有土壤结构，或发育非常缓慢；成土材料还易于潮解和不稳定，因此，需要合理的养护，包括仔细的填筑和耕耘，增加营养，如施肥或种植固氮植物，选择树种，这也是种植计划的一部分(见第六章)。

成土材料通常在要开采的矿物质覆盖层上可以找到。例如在西格拉摩根郡的代尔温露天煤矿场地，可以在自然土层下找到与黏性冰碛土分离的风化页岩。而黏性冰渍土也曾考虑作为成土材料，但移动起来特别困难，因此我们放弃了这种想法，而用风化的页岩作为复垦场地的成土材料。风化的页岩的地球化学分析表明，它比黏性冰碛土更适宜作树木生长的材料。

其他成土材料可能会在较深的地层中找到，我们可以使用钻孔或在有矿藏的邻近地区通过爆破进行鉴别。在有些地方，这些材料也许是当地仅有的土壤覆盖层，应该清楚地识别以便在施工中把这些材料保存下来。在地质勘测阶段，需要对钻探取的样进行实验室分析，以确定其营养含量和有毒物质，以及它作为土壤置换材料的普遍适宜性。表 3-1 列举了选择成土材料场地时应做的重要的物理和化学试验。适宜性的标准将随场地的不同而有所差异，可依据预定的复垦后林地覆盖的类型而定，表 3-2 中给出了最低要求标准。

通过岩芯试样记录和试验便可以识别成土材料，但也需要用其他地球物理技术来阐明所选材料的空间范围。然后才能估算材料的体积，制定剥离和存储计划。

戴安斯和阿莫斯(1984)及莫法特(1987)提出了通常情况下选择矿区覆盖层做成土材料的实用指导意见(表 3-3)。刚刚爆破后而获得的废弃物中通常含有 30%～60%不同颗粒大小(粒径小于 2mm)的土壤碎片，若土层有足够的厚度且未压实，它们会保存足够的水分。经过良好爆破的接近地面的风化土层变得比较疏松，

表 3-1　　评价作为成土材料覆盖层是否合格所必需的数据

1. 土层厚度
2. 土层的稳定性
3. 酸性平衡①
4. pH 值
5. 溶解的含盐量、导电性
6. 组织结构
7. 黄铁矿含量①
8. 重金属含量②
9. 植物所需的营养
10. 正离子交换能力

注　①特别是在煤矿废弃土堆上；②特别是在金属矿废弃堆和火成岩废弃堆上。

表 3-2　　复垦造林地对成土材料的最低要求标准

1. 松散材料体积密度	<1.5g/cm³，最小深度 0.5m
	<1.7g/cm³，深度为 1m
2. 含石量	<40%；很少有粒径大于 100mm 的石头
3. pH 值	3.5～8.5
4. 导电性	<2 000μS/cm(土与水悬浮物之比为 1:1)
5. 黄铁矿含量	<0.5%
6. 重金属含量	不得超过 ICRCL 规定的临界起动浓度(ICRCL，1987)
7. 有机污染物	不得超过 ICRCL 规定的操作起动浓度(ICRCL，1987)

注　ICRCL 是污染土地再开发部际委员会的缩写。

产生的废弃物多为易处理的重组织结构。选成土材料时，应避免使用纯粉砂岩，因为粉砂岩易于结壳。砂岩和粉砂岩混合物所产生的成土材料属壤土组织结构，具有良好的保水性和适度的高阳

离子交换能力。含铁的岩石也应避免作为成土材料，因为它们有固磷作用，不利于植物吸收。石灰石虽可以作为成土材料，但 pH 值高，树种选择只能限于少数一些耐碱树木。上述是成土材料选择的一般原则，在实际应用中各地是有差异的，要根据矿区的地质条件而定。

表 3-3　　矿区覆盖层类型以及对树木生长的主要限制

矿区类型	覆盖层/土层类型	组织结构	造林的主要问题
露天煤矿	页岩状的覆盖，常是冰碛土；中部的泥石土	ZCL，CL 和 C；一些泥炭土	重组织结构会造成冬季渍水和夏季干旱；含石；易压实和侵蚀；缺乏氮、磷元素
铁石矿	含铁的壤土	CL，SL	干旱易侵蚀，固结导致缺磷/缺氮；可能缺锰，pH 值低
侏罗纪的石灰石	覆盖在石灰岩之上的薄层硬质土壤	CL，ZCL，SCL	高 pH 值限制树种选择；由于含石造成土壤干旱；缺氮素；石灰导致缺氯的危险
石炭	覆盖：北英格兰的冰碛土，中部的粉沙冰碛土；南威尔士的薄层钙质土	主要是黏性冰碛土；中部土地为 ZCL	重组织结构造成冬季渍水和夏季干旱；易于压实；粉沙冰碛土易侵蚀；缺氮素
白垩土	直接覆盖在白垩土上的薄层钙质土	ZCL	高 pH 值限制树种的选用；缺乏氮、磷、钾肥；石灰易导致缺氯病

续表 3-3

矿区类型	覆盖层/土层类型	组织结构	造林的主要问题
黏土/页岩	多数地方覆盖冰碛土	主要是黏土，没有较轻组织结构的材料	重组织结构造成冬季渍水和夏季干旱；易压实；缺氮
高原砾石	石头/沙或者壤土	SL，LS	干旱，含石，pH 值低，缺乏氮、磷元素
河阶地	不同土壤类型	不同组织结构	高地下水位，pH 值低，由于成土材料的结构和含石量不同，限制条件也不同
高岭土	粗粒土，沙砾土	S	干旱，pH 值低；缺乏氮、磷、钾、锰元素
火成岩	粗沙质冰碛土，表面覆盖泥炭土	SZL，SL	pH 值低，缺磷元素
矿脉	不同类型的废弃堆	不同组织结构	含重金属毒素；缺乏氮、磷元素，有干旱的危险

注 ZCL 表示粉沙黏壤土，CL 表示黏质壤土，C 表示黏土，SL 表示沙质壤土，SCL 表示沙质黏壤土，LS 壤质沙土，S 表示沙土，SZL 表示沙质粉沙壤土。

（三）水文地质和水文勘测

开矿和采石活动必然会影响场地和周围环境的水文地质和水文条件。例如，废水和废气的排放、过滤地层的清除、地表的污染或者扰动场地接触雨水，都会给河流或者地下水带来污染；受扰动的土地也会影响泉水的天然径流（环境司，1988）。因此，在任何规

划申请提交之前，都要进行水文地质调查评估，以预测及调整开矿所带来的影响。

复垦后场地的水文条件与原来的水文条件相比也许有显著的变化。例如，运进来的填筑材料会影响整个场地水的运动；地表材料的选择、回填的位置和连续的耕作，都会不同程度地影响地表径流。地表径流本身也受排水条件的控制。例如，在许多复垦的露天煤矿场地，下水道出水口的洪峰流量要比期望值大得多，而雨峰和洪峰之间的时间间隔却很短。

造林复垦计划的成功也许直接取决于场地的水文和水文地质条件的预测和控制能力。例如，在复垦区，地下水位要低于树根生长所能达到的深度，这一点很重要。同时，造林复垦项目也要考虑造林对水质和河流水文过程线的影响。例如，是否有固体悬浮物高出允许水位以上，或者事实上排水口的水位过程线十分尖瘦。好的地形与好的排水设计有助于缓解采矿运作所导致的不可避免的影响(见第五章)。

三、林业局的作用

如果要提出下述任何造林申请，都需要到林业局咨询。

(1)如果是在林业委员会义务造林计划建议的矿区义务造林，或者是《林业法》(1979)第一节规定的援助项目；

(2)如果建议该土地在开矿复垦后的后续土地利用方式是林业；

(3)如果植树得到了造林援助项目或社区造林辅助项目的支持和同意。

(一)隶属于林业委员会义务造林计划建议的林地砍伐

该计划始于1947年。当时，主要是为了确保林业成为农村土地利用的有效组成部分，尽可能使林业与农业和环境最佳效益相协调。在这个计划之下，林地所有者只要同意种树，就可以得到的

全部报酬，但是，他们必须依照规定的操作计划去管理林地（通常依照议定书及契约协议执行）。

在义务造林计划的前两个版本（基础Ⅰ和基础Ⅱ）中，土地所有者及其有资格的继承人只能使用土地全部用于造林。要放弃造林而用于其他的目的如开矿，必须预先征得林业委员会的同意。如今，林业局也在逐步取消义务造林计划，基础Ⅰ和基础Ⅱ协议中规定的职责通常在向林业局提出申请时自动终止，基础Ⅲ协议在批准伐树时终止。

（二）伐树审批及实施准则

砍伐种植的树木是林业局许可计划的一部分，应按批准的操作计划实施。如果违背规定，林业局有权追回已支付的援助款项（林业委员会，1991）。

（三）林业局在矿区规划过程中的作用

自《城乡规划（采矿）法》（1981）通过以来（现今已并入《城乡规划法》1990），在矿产开发者希望将土地复垦成林地及采用林地养护措施之前，矿产规划局应向林业局进行咨询，林业局也应在项目批准之前对养护措施的各项条款进行审查。这已成为一个法定的要求，然而，即使没有这种法定要求，矿产规划局也应就他们对拟复垦土地的利用情况向林业局进行咨询。与此相应，在农业方面，矿产规划局必须就复垦和养护等方面与农业、渔业和食品部（MAFF）协商，这在环境司的矿产规划指南第七条（MPG7）（环境司，1989）中有明确阐述。在林业范畴的养护期间，要取得好的成就就必须依赖于良好的复垦。例如，许多复垦计划都建议土地复垦后用于造林，如果没有足够的回填土壤材料，就必须去寻找新的成土材料。然而，若不考虑它们的物理、水文和营养特性就无法选择合适的成土材料，而这些特性会直接影响大多数的养护措施。因此，MPG7 建议矿产规划局就全部规划中那些可能会影响林业养护的主要方面及原因，向林业局进行咨询（环境司，1989）。

作为对法定要求咨询的反响，林业委员会应在所有建议造林作为后续土地利用的地区安排他们的人员，由他们与矿产规划局联系。附件4列出了这些专家办公室的地址。

第四章　采矿期间的操作规程

一、概述

本章将对采矿期间的重要操作步骤进行阐述，因为它直接影响着最终复垦的成功与否，并强调了那些能把对场地资源的干扰和破坏降低到最低限度的技术。

二、伐树

在过去，大多数矿区在采矿前都曾经是森林覆盖区域，采矿后进行了土地复垦，又恢复成森林。南威尔士的煤矿区和英格兰南部高原的砾石料场恢复的林地就是很好的例子。在那里就出现这种循环：林地—采矿—林地（Moffat，1987）。在林地之下发现矿藏后进行采矿，要比在从事农业生产的场地上发现矿藏后进行采矿付出更多的劳动：首先必须伐树，且树的所有部分必须在矿区场地表土被剥离前运离场地。这一操作的具体计划及实际施工对以后达到良好的复垦目标来说是至关重要的。另外，对于从事伐树作业的承包商来说，在实际施工中和经济上可能都会有一定的约束。

在大的矿区，如许多现代化的露天煤矿，常常是分阶段进行开采，往往只有部分场地在开采。所以伐树计划要与矿区分阶段开采计划相一致，这样才合理，让放在后阶段实施采矿的地区的树木继续生长，并增加材积量。这些尚不砍伐的树木在施工期还具有其他效用，如作为矿区的屏障、降低噪音、减少灰尘等附加作用（Cook & Van Haverbeke，1972）。分阶段伐树也有利于平衡矿区运作与木材市场需求之间的关系；否则随着采矿操作员的一声令下，

大面积的、突击性的伐树，势必导致当地木材市场的饱和或者过剩，造成林产品的回报很小或者没有回报。

伐树可能会增加一些额外的费用。在矿区工作规划中，它可能规定了每项具体工作的许可时间，这样或许对伐树、收获运作和木材运输车的运行加以限制。该地区的伐树主要不是为了造林，而是场地开采的需要。进行伐树地区的道路如果不好，就需修建新的道路。如果运载树的车辆不得不经过特别黏的土地时，必须确保对所有车辆及树木进行冲洗，因此，洗车也是矿区规划的工作内容之一。

伐树和收获运作会严重影响复垦最终能否成功，因为这些活动会对土壤条件造成影响。现在这些操作基本上是使用大型机械，例如，传送装置能提升 18t 重的木材，满荷载时重可达 35t。它所施加于地面的静压力可能超过 100kPa，而运动的轮胎或履带产生的剪应力可能造成的压实效应超过静荷载的 2 倍(Greacen & Sands,1980)。在潮湿的条件下伐树，特别是在冬季最有可能造成对土壤的压实，因为湿土抗压强度低，很难经受得住收割机械施加的压力。因此，如果可能，应选择年内土壤比较干燥的时间进行伐树，把对土壤的压实降低到最低限度。在伐树和运送木材时，机械、车辆应按预先规划指定的路线通行，这也许是防止大面积土壤压实损害的最好选择(Froehlich & McNabb,1984)。在林木采伐期间，应始终遵循林业委员会的《森林和水指南》中的有关规定(林业委员会,1993)。

迄今，几乎没有有关采矿业参与阔叶林地砍伐的要求。也许做这些事的最好时间是在秋季树叶落下之后，冬季雨水软化土壤之前。树叶的枯落物有相当大的营养价值，因此，在剥离存放地表土时，应把枯枝落叶一起保存起来。

三、采伐后残余物的清除

林木采伐后的残余物包括树枝、树冠、树桩和树根。它们是树木的主要组成部分，但不经过粉碎和混合，它们本身几乎没有什么营养价值。树枝和树冠可以堆成堆或堆成条形长堆进行燃烧，或者等采矿后埋在开矿形成的空洞里。带有动力抓斗、能旋转 360°的挖掘机适宜于这项工作；根据经验，应避免使用推土机清除，因为在用犁来推场地的时候，很多有机物残渣会掉进沟槽里，而不易捡出。

当地环境将会决定燃烧是否可行——规划时可以要求深埋。如果燃烧是允许的就应进行燃烧，但应选择比较湿润的季节(通常是春季)，以免引发火灾。

如今，林木采伐后的残余物的利用路子已大大拓宽(Selmes, 1992)。粉碎的残余物因有能源价值可以向市场出售，或者与其他物质混合生产出有价值的园艺产品或土壤改良剂。近年来，残余物利用的研究成果已在南威尔士的露天煤矿弃土堆的复垦中推广应用。

如果对土壤进行剥离和存储然后用于复垦时的置换，那么重要的是树桩和树根应尽可能清理干净。树桩应用挖掘机挖，如果泥土粘在树桩上，应把泥土抖掉，或者等干燥后再进一步抖动，以促使泥土与根彻底分离。拔树根不能使用推土机，因为它不能很干净地把树根和泥土分离开，而且容易把土壤压实，除非使用对地面产生低压力的机械。树桩和树根的燃烧，如果不加更多的易燃物质(如废机械轮胎)引燃，就很难达到满意的效果，最常用的做法就是把树桩和树根埋在采矿后形成的空洞里。

林木采伐时也要致力于清理树根，这项工作不能在天气潮湿的季节或者地面潮湿的时候进行，应使用对地面产生低压力的设备，车辆应尽量在采伐后的残余物上行进，以减少对土壤的不利影

响，通行车辆应尽量少，保持在最低限度。

四、土壤剥离

复垦的成功与否，很大程度上取决于矿区的管理者，由他们确定场地的土壤资源（见第三章），然后，在开矿期间把这些土壤资源剥离出来进行存储，开矿后，再还原。在剥离过程中，会对土壤造成明显的破坏、压实和损失，但要尽可能减少土壤的破坏、压实和损失。另外，在剥离过程中，如果粗心大意，就会造成有价值的地表土、亚层土、覆盖层材料的减少，或者造成土壤材料的损失。

应把土壤资源图提供给负责现场施工管理的工程师，该图应详细标明不同的土壤类型的分布、厚度以及重要的物理特性。这些信息可用于编制土壤剥离操作计划及工序。不同的土壤材料应分别剥离和分类存储（环境司，1989）。大多数矿产规划局把这一条作为批准规划的基本条件。当土壤很干燥时，例如在春末和夏季，要限制进行剥离操作的时间，把对土壤的破坏减到最低程度。许多矿产规划局还对松散的土壤有所规定：在潮湿气候或在雨后的一定时间内不能进行剥离工作。令人遗憾的是，如今没有一个通用规程来决定什么时间能安全地进行剥离工作。由于表层土和亚层土特性的不同，对降雨标准进行统一设定的建议也许是不妥当的（Ramsay，1986）。因此，重要的是，其适宜性必须通过对土壤本身进行观测来判断，而这又依赖于对降雨的预报行为，否则可能会导致不良的后果。

在进行剥离工作期间，过多使用不必要的机械和装置或者对行驶路线不加以限制都会对未剥离的土地造成破坏，必须限定车辆并按预先规定的路线行驶，以使破坏减到最小。

在渐进的或分阶段的复垦中，如果把剥离的土壤直接撒在土地上，就会减少对土壤的破坏（环境司，1989）。土壤成堆存放时会使土质退化，故应避免将土壤成堆存放，从而消除对土壤的二次处理。

表 4-1 列出了处理大容积土壤的设备。现今可使用的机械品种很多。虽然环境司《矿产规划指南》提示 7(1989)说明,在规划条件下规定的特殊设备是很少的,但人们已日益意识到,铲土机会给土壤造成相当大的破坏;相反,用反铲挖土机和自卸翻斗卡车来运送土壤,造成的压实很小(环境司,1986)(见插页图片⑭)。对于造林的复垦整地,把土壤压实减到最低程度是极其重要的(见第二章),因而推荐使用反铲挖土机和自卸翻斗车进行土壤剥离。

表 4-1　　大容积土壤处理的设备(摘自 Ramsay,1986)

挖　起	运　输	填　筑
推土机	推土机	推土机
前端装载机	自卸翻斗车	
正铲挖土机	自卸翻斗车	
斗轮式挖掘机	传送带	
索铲铲斗	自卸翻斗车	轻型推土机或反铲挖土机①
反铲挖土机	自卸翻斗车	
前端挖土机	自卸翻斗车	
铲土机	铲土机	铲土机或反铲挖土机②

注　①推荐的方法;②居末位的推荐方法。

土壤的剥离不仅在矿区复垦中需要,而且在修路、建房、植树、污泥存留地以及土壤和覆盖层的土堆等处也都被采用。

泥炭土或其他含有丰富有机物且土层较厚的地表土,通常在林地里,其下面可探寻出矿产,特别是可露天开采的煤矿(例:Fourt,1984b),若把这些材料像表层土一样细心地剥离、存放和置换,就可以作为土壤材料用于种树(Moffat,1987)。把在矿区废土堆上和在复垦的泥炭土上种的树进行比较,可以发现,在泥炭土上树的生长要好得多(见表 4-2)。建议有条件的地方在土壤资源调查时,应对泥炭土予以鉴定,并对其剥离、存储,用做置换材料。在进行泥炭土存储时要特别小心,要做到安全、有效。因为当它吸收

过多的水分后其稳定性就会受到损害;而当它被再撒开时,就会减少作为土壤材料的价值。此外,对泥炭土存放过程中排泄出的水质必须进行监测,同时还要考虑防止污染的控制措施。

表 4-2　　在露天煤矿废土堆及泥炭土上种植的北美云杉生长高度及其增长比较

(摘自 McNeill & Moffat,1992)

处理	生长高度(cm)				5 年增长(cm)	
	种植时		5 年后			
	泥炭土	矿区废土堆	泥炭土	矿区废土堆	泥炭土	矿区废土堆
无氮肥	39.0	39.9	164.1	89.2	125.1	49.3
播种豆科类	38.7	37.5	163.6	105.4	124.9	67.9
豆+磷肥	36.5	38.3	170.1	104.1	133.6	65.8
套种桤木树	35.3	38.3	152.1	114.3	116.8	76.0
二年一次尿素	37.7	43.8	163.3	112.8	125.6	69.0
定期施尿素	35.4	38.5	164.1	97.9	128.7	59.4
平　均	37.1	39.4	162.9	103.9	125.8	64.6

五、土壤存放

许多近期研究表明,土壤的堆放必然会对土壤的质量产生不良的影响,长期堆放的土壤会更加密实,有机质变得比较贫乏,且会发生化学的、生物的和微生物的改变(Scullion *et al*.,1988;Harris *et al*.,1989;Williamson & Johnson,1990)。而这些变化在土壤存储后很快就会发生(Rimmer,1991)。当土壤存储时,要尽量堆成低而宽的土堆,而不是高而窄的土堆,其影响就能减到最小(环境司,1986)。但由于许多场地空间有限,土堆堆放高度不得不超过 5~6m。应该懂得这一高度要比理想的高度大。另外,土堆位置应很好安排,使其远离任何未来采矿的洞口,以防土壤流入洞

内。土堆还应设计排水系统,在土堆的顶部应有一个至少是 50:1 (1°)的横坡降(Bransden,1991),还必须压实储存材料以防止降雨的入侵,但压实工作只是维持在最低需要,以达到阻挡降雨的目的。

大多数规划要求在土堆上播种或铺上草皮,以种植深根植物为好,这样可使土堆最深处能保持需氧。另外,还要进行必要的施肥,以促进植物在贫瘠亚层土或成土材料上的生长,并使用化学除草剂控制杂草。一旦堆成土堆,任何机械不得从上面穿行,直到采矿后土壤还原为止。

第五章　复　　垦

一、概述

《城乡规划法》(1990)规定，采矿一停止，就要进行复垦。复垦一般分两个阶段进行，即恢复阶段和养护阶段(见第六章)。环境司的《矿产规划指南》指示 7 中指出："恢复"就是对任何或所有表层土、亚层土和成土材料的复原；"养护"就是在完成恢复后，通过某种或全部的操作，如种植、耕耘、施肥、浇水、排水或其他措施，以达到规定的最终土地利用目的(环境司，1989)。"恢复"蕴涵着土地的形态已确定，准备土壤的还原，换句话说土地最后的轮廓已基本确定。"养护"将不会给土地的形态和外貌带来很大的改观。

在第三章中已讲过，造林过程中，恢复阶段是整个复垦计划能否成功的关键。例如，地下排水是农业复垦的一个养护操作环节，而在造林中很少考虑这个环节，在土地外貌形成时，也就是在恢复期间，有很多机会去修建一个良好的排水通道。事实上，要取得造林复垦的成功，就必须考虑土壤湿度这一最关键的场地特性，如果在恢复中失去了这一机会，以后是不可能再弥补的。另外，水渍地对耕作、施肥和种植工作有间接的影响，对树木生长有直接的影响(见第二章)。

在林业方面，人们对恢复和养护的定义往往带有人为性。如果认为恢复和养护是顺序的及分开的操作，而在恢复完成之前几乎不考虑养护，那么，复垦成功的风险就会很大(Moffat，1987；环境司，1989)。

尽管有争议，恢复阶段仍是采矿后复垦的第一步。这一章涉

及林地建设恢复阶段和养护阶段的重点,尤其是在恢复地表和土壤还原的设计等方面。另外,对规划所许可的后续土地利用方式是造林的场地,附件5给出了造林复垦条件下如何安排抽取样本。虽然本章主要介绍矿区复垦,但许多地方与废弃地和填筑地的复垦有密切关系。

二、地形

最终地形的设计涉及造林、工程、环境美化构造等学科。每一学科都有其自己的标准,并期望放进设计中去。重要的是每一学科都要了解其他学科的设计标准,要考虑各方面的要求,如此才能使最后的设计令人满意。以下场地特性受地形设计的影响或制约,现就其若干细节加以讨论。

(一)排水

在所有的矿区场地,应该注意能影响恢复的地形以及能把水引到场地外的水道。影响地表径流的因素包括:

a.恢复场地上排水网的特性;

b.用于恢复场地地形的材料特性;

c.地表层的压实程度;

d.耕作范围和特性;

e.植被覆盖的范围;

f.地形的形状及坡降;

g.地下水的运动和变化。

地表排水网最重要的作用是控制水流,将其纳入水道中。简单地讲,降水从降落在一个流域的最远地方流到场地的出水口所需要的时间越长,那么,向场地外引水的水道的保护措施也应越多。工程设计应着眼于减缓或暂时把水滞留在场地,以便有效地控制地表水的排放。许多方法可以达到此目的:

(1)在长坡面上,建议修"等高戗台"来限制地表水顺坡而下,

如果不加以控制，势必会造成已恢复土地表面的严重冲刷。另外，戗台的另一个作用是延长地表水运行到场地出口的距离。

(2)在许多场地，需要使水道的坡降超过地面坡降，但也不致造成冲刷(1°～2°)。在需要较陡坡降的地方，应在渠床和两边用坚固的石料做衬砌护面。石料护面比混凝土护面要好，因为它适应性强，并允许其下的土层产生沉降。它的粗糙表面还可消耗水流能量，减缓水流速度，延缓水流到达场地出口的时间。另外，石料护面更适合乡村施工。

(3)正如其他章节阐述的，必须防止土壤压实或减轻压实程度，为造林提供良好的条件。如果恢复的地面是疏松、脆性和没有压实的，还可能有排水效益，因为这种地面易使雨水下渗，并增加土壤剖面的持水容量。如果恢复的地面是压实的，降落在场地上的雨水会很快向低处流，汇集到场地排水口。如果土壤上层出现压实，建议进行翻耕。

(4)在新恢复场地兴建的水域地形，如池塘和湖泊通常可以控制地表径流。大多数湿地能够经受住一定时间的水位上涨而不会损害所建设施。池塘水位的上涨能有效地限制任何一段时间里到达场地出水口的水量。湿地出流的控制，常藉助于一个管道，而在大雨期间，管道输出水流的能力与进入池塘的水量相比要小得多。这一调节效应导致池塘水位上涨，形成了一个临时水库。洪峰一到池塘就削减，出水管道在控制流量下不断排水，直至池塘水位降到与出水管道的水位相等。

(5)复垦场地有植被覆盖时也能减缓水流。另外，蒸发也会减少水量，为场地排水做出贡献。

水管理在矿区复垦中是需要考虑的非常重要的事项，应注意征求工程方面的意见。

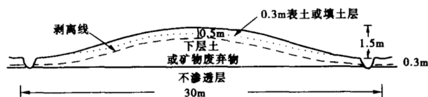
(二)土壤的水文情势

正如《矿产规划指南》中所阐述的，控制土壤的水文情势的关

键是地形设计。大量的证据说明，过量的水不能有效地从恢复场地上排走，除非提供约 1/10(5.5°～6°)的坡降(Wilson，1985；Moffat，1987)。在降雨多的地区如南威尔士，树木的生长尤其是根深的树木，能够忍受较差的土壤排水条件(Bending *et al.*，1991)。

在许多场地，坡度一般都大于 6°，降雨时过量的水能够快速下泄，而此时土壤侵蚀和水管理成为应关心的主要问题。可是，有些矿物如沙和砾石，主要来源于平坦的河流阶地和高原(见第九章)，在那里，土壤渍水的危险很大。过去，林业委员会曾经建议修建边坡为 6°的地垄，所以绝大部分场地的坡度平缓。在 80 年代建议修建大地垄，宽 30m，高 1.5m(Fourt & Carnell，1979；Fourt，1980b；Binns & Fourt，1981；Binns，1982)。建议的两种系统中，一种适合于渗透慢的场地，底层是不透水材料；另一种，在沟底的 0.3m 处使用有孔隙材料(见图 5-1)。在前一种系统中，地面被横向切割到 0.5m 深，以减轻压实，增加渗透和侧向水流；但必须修建明排水沟，把从软埝上流下的水排走。在后一种系统中，地面切割的深度可达 0.75m，通过沟槽的最后一个通道，确保所有的水渗透下去。

近来就垄沟地形对树木生长的影响做过一些评价(Moffat & Roberts，1989c)。研究的结果表明，这种系统能成功地减少大多数地垄地区的渍水。在比较湿润的地方，此方法可以促进树木生长，也许是因为树根扎得深土壤的通气性有所增加；但在较干旱地区，特别是在英格兰的东部，地垄较高处的树木生长状况较差，这是由于夏季树木经受了长时间的大面积土壤水分缺乏的缘故。研究结果表明，在雨量多及土壤水分不很缺乏的地区可以使用垄沟地形。但在比较干燥的地方或土壤中地下水位一直较低的地区，使用垄沟就不适宜。莫法特和罗伯茨(1989)建议，在夏季，应缩小地垄之间的距离，以降低地下水位的深度。若这些完全不可能做到，也应尽量避开很平坦的地面。



(a)适合于高地下水位场地



(b)适合于渗透场地

图 5-1　波浪式垄沟地形

陡坡也会影响排水状况,坡度过陡会造成排水过量而导致干旱。

(三)土壤侵蚀

在土壤经过搬运和还原的场地,一般发生土壤侵蚀的危险都较大;在贫瘠的土壤或成土材料上,常由于植被稀少,加剧了发生土壤侵蚀的危险(见插页图片⑮)。但是,通过合理的地形设计可以减小发生土壤侵蚀的危险,反之,若设计不当,发生侵蚀的危险性将显著增加。流域大小、坡度、长度及形状都是最重要的地形特征,在许多场地,这些因素都是能控制的。

侵蚀危险与这些参数之间的关系是复杂的,但显然,危险程度是随坡度或长度的增大而成非线性增加的。例如,里格(Haigh,1979)报道,在煤矿废弃堆上侵蚀强度的增大与坡度有关,而在坡度为 26°～45°之间时,侵蚀强度达到峰值,而这取决于侵蚀材料容积密度;罗斯韦尔(Rothwell,1971)报道,坡长成倍增加,侵蚀强度的增长率为 1.5 倍～3 倍之间。选择正确的坡形也是重要的。凸

形坡比直线形坡或凹形坡更易受侵蚀(Haigh,1979;Thornes,1980),因此,在地形设计时,应尽量避免使用凸形坡。

在大的场地,地形设计的目标,是把它筑成若干个较小的集水区,以缩短坡长,地表径流就可被拦蓄在坡面上等距离修建的"等高戗台"或"水平梯田"内(Fournier,1972)。在南威尔士已恢复的露天煤矿的废弃堆上,戗台间的垂直距离为20m,纵坡为2°,让径流泄入有衬砌的主干排水系统(见插页图片⑯)。在常规的森林排水系统中,戗台类似于"横向排水道"(Pyatt,1990),在有斜坡的矿区废弃堆上易于修筑等高戗台,而且造成的侵蚀小。戗台的坡降应一致(<2°),台宽约为一个推土机的铲刀宽,台面略有点倒坡。重要的是,修建的戗台要与覆盖层还原整合成一体,使之成为新地形的一个组成部分,而不是强行复合。如在地形形成以后再修戗台,进行填挖的坡度不得超过27°,否则,就不能再种植被(见第六章)。

(四)坡向

坡向能明显影响小气候。表5-1是由科平和理查兹(1990)归

表5-1 坡度对小气候的影响(摘自Coppin & Richards,1990)

季节	阳坡	阴坡
冬季	日温差变幅大,有规律的冻融循环	日温差变幅小,持久封冻/寒冷;白雪覆盖保护植被
春季	土壤快速变暖,很早开始进入生长季节;很早呈现出土壤水分缺乏	延迟的生长季节,但极稀少出现土壤水分缺乏
夏季	出现极端的地表高温;持续长期的极严重的土壤水分缺乏	中等的地表温度;可以避免长期的土壤水分缺乏
秋季	生长季节延续到较冷月份;土壤水分缺乏时间较长,可由降雨而缓解	生长季节结束早,土壤水分缺乏结束早

注 其他方面的影响是介于阴坡和阳坡之间的。

纳的南坡和北坡小气候的主要差异 。其差异随着坡度变陡而增大。例如,黑色无植被废弃堆、煤矿和露天煤矿废弃堆,在阳坡特别易受热。理查逊(1958)报道,在达勒姆县,在阳坡的30°坡上,当每天日照3～6小时,而且连续照16天之后,土壤表面温度能超过45℃。因此,地形设计应把阳面陡坡的面积减到最小。如有朝南陡坡存在,必须种植一些耐干旱树种。

(五)裸露面

宽阔地形的顶部常常裸露。和谐的地形设计可以减少裸露面积,还可以创造出更多的荫蔽环境,让那些耐阴树种能够生长。

三、地形和地貌

矿区场地即便是复垦后,也能一眼看出其全都是人为的,除非做得很精心很细致,才能使新的地形与周围的地貌相协调。例如,若重整坡度,废渣弃置物看上去非常荒凉,显示出单调的凹凸不平。通常在现有场地周边不可能进行更多的工作,因此,它的形状也不可能仿效成自然的轮廓。精心地进行地形设计是很重要的,能使这些重整后的废弃物场达到美观上的要求。凹形和河湾,在种植阶段要给予足够的重视,可产生一定的视觉效果。采矿时造成的带棱角的地形,如锋利的边缘、拐角的凸出部以及不规则线,也应在复垦期间消除掉,以减少场地使人感到别扭的地方。

垄沟式地形看起来非常不自然,特别是在早期,树木还没有完全覆盖整个场地时。如果大多数垄脊相互平行,其外表看来是别扭的。卢卡斯(1983)建议,可以使地垄在曲线及长度、宽度及垄脊空间等布局上加以变化,以增加地貌的多样化,这项工作在南威尔士已获得成功。原则上,对于沟垄系统地形似乎找不到不能更改的很好理由,以使它能与地貌的情趣相适应,当然,这也不能过分牺牲造林和工程场地的要求。

矿区场地如石灰石料场,在地貌景观中是不相宜的,但复垦可

以改善它们的外表及创造种树的场地。料场外表的形状应反映地形，而它的规模应与周围的乡村保持一致。作业面以上未经破坏的面积不需很单薄或者平行于轮廓线，而应尽可能避免打破轮廓线。形状本身应是不对称的（林业委员会，1991b）。通过额外的开采或在料场周界内对废物弃置场进行再作业就有可能调整运作中的料场形状。“复垦爆破”已被用来修建一系列各种各样的岩屑堆、扶跺、拱心墙，可很好地复制出自然山谷景观（Bailey & Gunn，1991）（见第九章）。

在地形设计出后，出于对景观的考虑，地形设计将进一步在林业委员会的《社区林地设计指南》中讨论（林业委员会，1991b；Lucas，1983）。

四、地形和野生动物栖息地

在进行林地复垦时，也应考虑有没有为野生动物创造栖息的场所（见第一章）。对于野生动物，复垦的目的在于在场地的实际条件下最大限度地创造出多样的地形、水域和植被（Green & Saltex，1987）。复垦应根据采矿前周围乡村和场地的情况，考虑野生动物的种群和总数以及栖息场所，创造的新地形应尽可能接近现实，以便能吸引更多的动物种类。一旦可吸引的动物种类得到确认，就应在总体复垦策略中适当地规划动物栖息地。野生动物栖息场所规划能否获得成功，地形起着核心的作用，在复垦过程中，造林计划应很好地考虑、确定野生动物栖息场地。如果在场地复垦之后才决定造林计划，那么，野生动物栖息地的规划是不会获得成功的。

地形的特点，如坡度、坡向、形状和稳定性，都会影响植物种群的建设，同样也会影响动物栖息场所的面积、栖息场所边界的数量以及栖息场所的多样化（Green & Saltex，1987）。地形设计还包括突出特殊栖息场所的特色，如保留高墙，构建悬崖峭壁等栖息地，

以便为蜜蜂、黄蜂和鸟类提供筑巢场所。料场的其他特点，如岩屑堆和崩坍岩堆形成的坡度，为许多小的哺乳动物和鸟类提供栖息场所，这种附带为动物提供有高墙保护的场所就具有特殊的价值。不规则的地形如悬崖、岩石、沟壑、陡坡、洼地以及小池塘，都有利于野生动物的多样化发展(Steele & Grant，1982)。变化多端的地形，可以形成保护层以抵御恶劣的气候，还可以抵御外来者的侵入和人类的破坏。这在复垦后的初期，树木和植物还未长大时，显得特别重要。

如果复垦的目的包括增加野生动物，那么，池塘、湖泊、水道和湿地，也许是很有倡导价值的。水不仅能为野生动物本身提供栖息场所，还为创造与海岸线或河岸有关的栖息场所边界的多样化提供机会。例如，生长在水域周围饱和土壤上的柳树灌木林长势良好，并能为蹄类动物提供饲料，掩护小哺乳动物和鸟类，为鱼儿提供阴蔽场所(Green & Salter，1987)。柳树和其他阔叶林树种也可以为许多昆虫提供生存场所，而昆虫又为蝙蝠等提供有价值的食物来源。水的边界对于野生动物特别重要，通过对不同大小和深度的水湾进行开挖可增加水域长度，从而增加当地动植物的数量和种类。水域的深度应有所不同，如果是为鸭子戏水提供方便，那么，水深在0.15～2m之间，若考虑鸭子可以潜水，那么，水深应达到0.6～2.5m(Street，1989)。若计划储水养鱼，水深应达3m，才能饲养如鳟鱼等一些鱼类。有遮蔽进口的浅水域，可用来作为两栖动物的产卵区。

为水鸟提供人工筑巢和栖息场所将有助于保护鸟类不受人类的干扰。长的岛屿以及在垂直长轴方向营造风障，可以很好地达到上述目的，岛屿还可形成一些遮蔽的浅水域，用来养育鸭子(Street，1983)。

水域地形的开发可与改善场地水资源的保护措施结合。在大雨时场地发生土壤侵蚀，水域可作为拦沙池；在洪水期间可作为

消峰池；采矿期间可作为泥沙污水池。在开采停止后对水域应进行很好的管理，以便为野生动物提供栖息场所，而不能简单地用土掩埋，用于平常的种树。无论是作为湖泊，还是作为池塘，都可以最大限度地合理利用土地资源，而且还可以用来种树。另外，水体和水道在伐树季节还可用于阻挡或防止火势蔓延。

如果露天水体是矿区复垦场地的组成部分，那么，应在正规的立法体系中进行评估，从而控制这些场地的运作和复垦，这项法律就是《城乡规划法》(1990)。水域后续利用的方式，与有关县域的结构规划和当地的规划政策有关，有些水体类型还需要得到当地水管理局或国内流域局的许可和特许。如果池塘或湖泊是采用大坝结构蓄水的方式，它就是一座水库。像这样的水域，如果库容超过 25 000m^3 并高出周围的地面，必须有专业工程师进行设计，并在专业工程师的监督下进行施工，这是《水库法》(1975)明确规定的。

五、地形和地质保护

采矿常常带来地质的暴露(自然保护委员会，1990)。复垦，特别是用外来材料进行填筑，就是为掩盖或消除这一地质特征。通常，凡已暴露并考虑是值得保护的地方，就有必要对复垦地形重新设计，以便加以保护，使它安全而且可以使用。自然保护委员会(1990)及威尔逊、托马斯(1991)提出了有关保护矿区和填筑场地地质剖面的方法。有保护价值场地的鉴定建议，可以从英格兰、苏格兰自然遗产和威尔士的乡村委员会(地址详见附件 6)获取。

六、道路

道路往往是造林复垦期间容易被忽略的部分。然而，在常规的造林中，通往种植人工林，以及用于维护、防火和林木砍伐的道路是很重要的。而且，如果允许在林区通行，复垦区还可能作为公

共娱乐场所。但在复垦阶段修建林地道路需要相当大的费用。因此,必须精心规划,确定现在和将来所需的合适的道路密度。有些复垦地形,如山梁和沟道,修建交叉道路比较困难,可允许其道路的密度比通常的林地道路密度大一些。

林地道路的规划应在采矿前做好,要依据地形和排水规划确定道路的位置。对覆盖层之内可用于修路的材料,要利用钻探和物探资料加以鉴别,以便把这些材料保留下来用于今后的修路。林地道路修建的最低标准见表 5-2。有关修建道路的资料,大多由罗旺(Rowan,1976)和海(Hay)提供。

表 5-2　　**林地道路标准概述**

特　征	标　准	
构筑宽度	最少 4.7m	
路拱高	最低 75mm	
侧坡高	最少 150mm,但不能超过 190mm	
坡降	最小 1%,最大 10%	
道路铺砌层宽度	最少 3.2m	
水平曲线	半径(m)	道路铺砌层宽度(m)
	60	3.8
	45	4.0
	30	4.4
	25	4.8
	20	5.4~5.5
	15	5.9~6.4
铺砌层厚度	150~450mm	
转弯地方	4m 宽,21m 长	
超车地方	4m 宽, 33m 长	

七、土壤复位

在场地地形做好以后，通常必须进行土壤复位。复位的土壤包括采矿中保留的成土材料或从其他地方运来的土壤，以补充该场地的土壤损失。在渐进工作的场地，采矿前可将已被剥离的土壤直接运往新复垦场地，不在原场地存储；而多数场地是将部分或大部分土壤堆放起来，直到地形平整完成后再复位。

土壤复位在复垦期是最重要的操作之一（Ramsay，1986）。在恶劣天气情况下，若操作不慎，就会造成相当大的破坏，甚至是难以挽回的。特别是土壤遭受压实后，必然会影响其有效的持水能力、透气状况以及树根的贯穿深度（见第二章）。

现有的覆盖层土壤还原的方法很多。传统方法是用铲土机作为进行土壤材料剥离和还原的基本工具。因为这种方法是大量土壤移动的最简单、最经济的方法。可是，运土承包商的操作控制能力常常是很差的（Ramsay，1986），一个主要问题是在行驶中将刮土板提前放下，造成土壤严重压实。故若使用铲土机，那么土壤的填筑顺序应由远而近，使刮土板不在已经撒开的土壤上拖拽而压实土壤。在剥离的场地上进行复原，要仔细规划搬运的路线，任意行驶是不允许的，必须采取有效的监督措施。

即使仔细地进行规划并严格执行，用铲土机进行土壤还原仍将不可避免地造成土壤压实（Ramsay，1986），这就需要通过耕作来缓解这一问题（见第六章）。还有一个可选择的方法，就是在过去15～20年里农业复垦所采用的方法——使用挖掘机和翻斗卡车法（Bransden，1991）。

应用挖掘机（反铲挖土机）挖土，后举起并装入翻斗卡车，由卡车运走。翻斗卡车把土壤从堆放处或新剥离的地方运送到复垦场地，在覆盖层表面卸成堆。然后，从填筑表面的一个位置开始，使用带有宽翻斗的履带式液压传动的挖掘机进行分撒和平整（见插

页图片⑰～⑲)。

如果地表土即将复位,运进来的土壤成堆地放在已平整的亚层土附近,这时,可使用挖掘机把土壤挖撒在亚层土上(见图5-2)。当表层土已覆盖在第一次剥离的亚层土上,即可第二次剥离亚层土,使用同样的方式循环操作。这样,没有土壤运输机械在土壤上通行,完全避免了土壤压实(环境司,1986),即便是在湿度较大的情况下也能连续工作,因为土壤没有承受压力(Ramsay,1986)。



(a) 自卸卡车在覆盖层上运土料



(b) 土壤被堆放在覆盖层上



(c) 液压挖掘机在挖撒、平整土料

图 5-2 平整土料示意图(摘自 Dobson & Moffat,1993)

依据复位土层的厚度,可能有必要在土壤填筑前对覆盖层表面进行翻松(见第六章),以便使树根能穿透表层土后其网络状根系扎入覆盖层。如果土壤复位时,"松散倾倒法"得当,就没有必要

对土壤材料进行疏松或翻耕。

以下介绍两种以在露天煤矿恢复场地、沙砾石料场和填筑土地上的林业研究为主要目的的土壤复位的主要方法。

(一)露天煤矿废弃场

自70年代初期就开始使用翻耕法,目的是为了缓解复垦的露天煤矿区废弃堆的压实程度。而松散倾倒法近期已在中格拉摩根(Mid Glamorgan)的梅斯格温(Maesgwyn)场地进行试验。图5-3

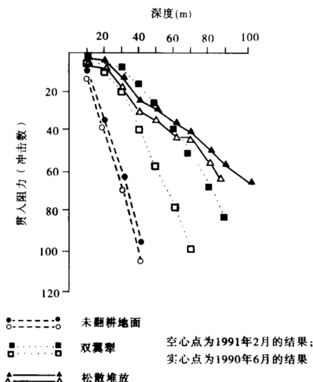


图5-3 露天煤矿废弃堆翻耕法及松散倾倒法土壤贯入阻力的比较(南威尔士)

是两种方法的效果比较,使用贯入阻力来测定压实程度。耕作能缓解压实,但其主要效应仅限于上层20cm厚的土层,而且这种作用是短暂的,在翻耕后6个月内会出现相当大的再压实。相反地,松

散倾倒材料对相当深的地方几乎没有冲击，而且再压实的范围很小。目前一些科研人员正在研究松散倾倒材料对根部延伸和树木生长的影响。

(二)砂和砾石矿区

最近，莫法特和罗伯茨(1989c)对在复垦砂砾石矿区进行土壤翻松的功效提出了疑问。他们发现在翻松的6年后，土壤的容积密度一般情况下有所增加，证实发生了再压实。其后果是抑制了树根深扎，干旱限制了树木生长。图5-4是对30m高的垄用两种复垦方法的平均贯穿阻力比较。结果表明，松散倾倒法对地层产生的压实很小，而常规翻耕法压实明显增大，尤其是在30cm以下。

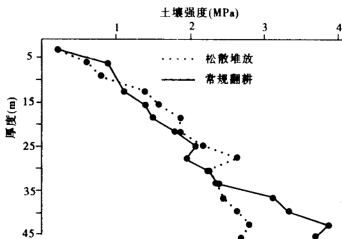


图5-4 已恢复的砂砾石料场进行翻耕和松散堆放土壤贯入阻力的比较(汉普郡)

(三)填筑

在贝德福德郡(Bedfordshire)场地，填筑的操作采用了三种不同的方式：一是常规，二是剥离后再用圆盘耙翻耕，三是松散地倾倒黏性废弃材料。5年后对树木存活率进行比较，结果见图5-5。从图5-5可以看出在松散倾倒的材料上种植的各种树木的存活率

都明显的高。

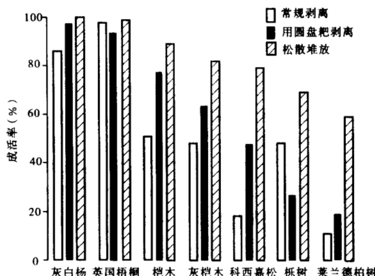


图 5-5 用不同方法进行场地填筑的树木的成活率比较(贝德福德郡)

松散倾倒法在其他国家已被广泛应用,特别是在覆盖层或成土材料的填筑中(Gey & Rogers,1972;Daniels & Amos,1984);耕翻不能完全缓解压实这一众所周知的理由是对松散倾倒法推广应用的极大促进,在造林计划中,应提倡使用松散倾倒法填筑土壤。还有一种论点,复垦造林不同于农业后续土地利用,在树木种植前的准备环节是惟一一次缓解压实的机会。如果在树木种植后发生再压实,就无法再缓解了。因此,应事先尽一切可能防止压实,而不能事后再试图去处理。

采用堆放储存材料进行土壤复位时,需要特别小心,因为这些材料已不可避免地遭受了压实。在将土壤装入翻斗卡车时,应使用有长铲斗的挖掘机,以有助于破碎已被压实的土料(Bransden,1991)。

表层土堆也可以保证剥离的连续进行,因其表层土中能提供有价值的蚯蚓群体,这是深层土所缺乏的。如把表层土遍撒在复

垦场地，为蚯蚓的繁殖移植提供场所，将有利于土壤结构的形成(Scullion,1991)。

八、还原土壤的厚度

复位土壤的厚度或成土材料的厚度，在矿区和废弃地的复垦中是一个值得考虑的问题，因为它是种树的最后填筑覆盖层。在现代矿区场地，土壤材料有可能被留下来用于土壤复位。但是，如果规划是采矿后紧接着造林，则必须检查现有的土壤资源能否维持树木生长所需。若达不到树木生长所需的最低厚度要求，就应鉴别和保留覆盖层的成土材料，并估算需运进多少客土或土壤的替代物。

在英格兰和威尔士，不同的地方成熟树木所需要的土壤最低厚度也大不相同。壤质土具有相对高的持水能力，每单位深度为植物提供的水量较多，因此，需要的土壤厚度相对小些。石、沙质土由于持水能力低，含水量很少，在英国东部的干旱地区，需要的土壤厚度就大。

附件 7 给出了更详细的土壤厚度计算方法。在复垦期规划土壤厚度时，尽管是假设条件，也要做模型试验，验证树木生长所需要的水分。

第六章　复垦后的养护

一、概述

在矿区复垦时，养护工作包括建立和维护一个复垦场地后续土地利用所有必要的操作过程。对造林而言，它应包括翻耕、地面植被建设、树木种植、杂草控制、防止动物破坏、施肥、管理和依据作物的特殊需要进行养护。本章将主要对废弃地和填筑地复垦的养护运作过程进行详细阐述。

二、养护期

矿区规划的批准通常要考虑养护条件，这在《城乡规划法》(1990)中有明确规定。以下两种养护方式可任选一种：

(1)在批准拨款期间所硬性规定的养护条件，要明确实施步骤；

(2)由矿区操作员或其他合适人员所提交的，以便矿区规划局批准的养护计划条件。

环境司的《矿区规划指南》指示 7(1989)建议采用第二种方式，因为第二种方式更适合于那些在今后若干年还不能进行复垦和养护的地方。

《城乡规划法》(1990)规定养护期最多 5 年。可是，5 年只是确保造林建设最起码的时间(Teasdale, 1983)。在矿区复垦中，第一个生长季节是不可能种树的，最早是在 5 年中的第二个生长季节前种树。这样，只有很短的时间进行种树和施肥，因此，要在养护阶段一开始就进行养护操作；如果复垦工作能够在冬末或早春

完成,那么,养护的第一项工作,特别是翻耕必须在开始后不能中断。这样,该年的冬季就可以种植。这种从复垦到养护的理想转换要依据合适的天气和地面条件,如可能,应尽一切努力去争取。

养护时间的长短可以由国务大臣依据条件变更,尽管这种权力很少使用。如果经营者和矿区规划局都同意养护期延长,可以通过协议决定,这在 1990 年《城乡规划法》第 106 条中有规定。在林地的援助计划(附件 1)上报建设援助,也是为了确保在 10 年内由林业局对新的种植地进行考查。

三、翻耕

压实是土壤迁移过程中永恒的伴随物,除非土壤的复位是松散倒入的(见第五章)。翻耕通常是需要把土壤翻到可以种植及根部能生长的状态。翻耕方式的选择取决于场地的特点,如地表构成(有无大土块或下埋碎石)、坡度、土壤组成和土壤深度。

在林业复垦中最普遍的翻耕形式是使用深齿犁,一般深度达 0.5m(黏土场地)或 0.7m(砂土场地)。通常在平行四边形的悬挂架上安装一套有 3~5 个齿的犁,然后再安装在大功率(最好是履带式)的拖拉机后面。也可以使用直柄犁(无翼),而它最早是用于料场的深松,以限制地面的干扰。需说明的是,用这种方法翻耕,可以加快植物的生长(Jobling and Carnell,1985)(见图 6-1)。

带翼的犁(Fourt,1978,1979,1980b)(见图 6-2,插页图片⑳)更易于对地面进行松动,建议在翻耕时使用,以减轻土壤压实。但是,土下埋的岩石和其他大砾石易损坏犁头,除非翻耕前石头被捡出,否则不宜使用有些形式的犁。犁的间距最好不大于 1.2m,犁的外侧要与拖拉机的轨迹一致。翻耕通常顺着下坡的方向进行,不安全的坡地除外。在垄沟地形(见第五章),翻耕应横跨地垄,以有助于把水排到沟里。对于有孔隙的土壤材料,犁体最好沿沟地通过,可以促进向下排水。

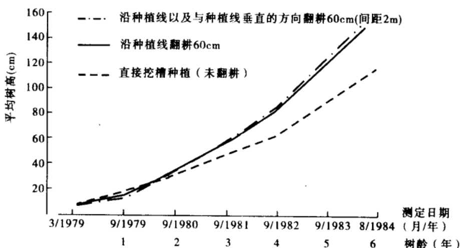


图 6-1　翻耕和未翻耕废物堆上树木生长对比(1985 年)

在有些区域,通常是在最后使用重型圆盘耙来打碎翻耕到表面的石质材料,或者用重型圆盘耙来掺合材料,如把污泥及残渣掺合入土中。如果几个圆盘耙相对地装置在镗杆上,就能形成一条可以种植的小的地垄。但是,我们不推荐单独使用圆盘耙作为一种翻耕方式,因为它的贯穿深度不能满足缓解压实的要求。

在范围很小的场地或陡峻的大堤,进行完整的地面翻耕会受到很大的限制或根本不可能。在这些场地,有时会使用一台能回转 360°的挖掘机进行松土或破碎。最后一道工序,用挖掘机或机械螺旋钻机在每个计划植树的位置挖有疏松土壤的种植坑。然而重要的是,成年的树木需要足够多的土壤,而这一点往往在规划种植坑的大小时估计不足。

翻耕作业如翻耕和耙松土壤应在夏季土壤比较干燥的情况下进行。如果土壤全是潮湿的,那么深翻不可能缓解、减轻压实,犁耕后反而会形成一个犁底层,这样就不可能起到疏松土壤和破碎土块的作用。在非常潮湿的年份,翻耕最好延迟到来年干旱的夏季进行。

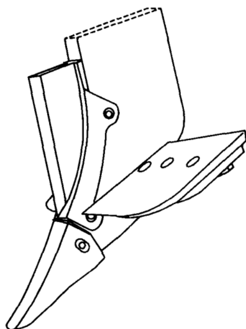


图 6-2 双翼犁设计示意图

四、地面覆盖

地面草本覆盖层的形成，取决于很多因素，包括控制侵蚀、促进土壤的形成、改善土壤的主要养分、自然保护的需要（如希望种植当地草本和灌木），或是为了美观，如一般的场地绿化。当树木种在有植被覆盖的地方时，无论是人工播种或者自然繁衍，它们之间对水分、光照、空间以及营养的竞争都十分激烈，所以要对每棵树周围的植被加以控制。

也有人提出，专门在那些丝毫不保留植被的场地种树（焦化土地的政策），这对于那些有很大侵蚀危险的复垦场地，或需要地面植被来促进土壤形成的地方是不合适的。另外，经常使用某些除草剂会导致土壤中某些化学成分含量的增加，而这些有毒物质反过来会对树木的生长造成影响。

地面植被覆盖有两种主要形式：草类占主导和豆科类占主导。

草地类——草皮铺地是比较容易的，市场上有许多混合草皮适合于复垦场地。可是，有些草种与树木相互激烈竞争水分和养分，如黑麦草，红羊茅(Insley & Buckley,1980)。通常采用比建议值低些的播种率，或掺合生命力不十分旺盛的草类，以减少竞争。以下草种竞争力较低，适合混播在树木之间，尤其是在复垦区，它们的种植比例如下(Coppin & Bradshaw,1982)：

茵陈剪股颖属(Agrostis capillaris)	10%
红羊茅(Festuca rubra var. commutata)	20%
羊茅(Festuca ovina/F. tenuifolia)	40%
白东轴草(Trifolium repens)	20%
百脉根(Lotus corniculatus)	10%

在南威尔士的露天煤矿废弃地上混交种植的种类有紫羊茅、六月禾、加拿大莓系、细弱剪股颖、羊茅属以及驴食草等，这是由莫法特和罗伯茨建议的(1990)。

通常用施肥来促进草的生长，但实际上不必要或者说不值得。一个好的、可自我维持的方法，是将草类混合种植，其中包括有一定比例的豆科种类。

豆科植物类——豆科类植物与根瘤菌有共生关系，可以在根部形成菌瘤。在这个过程中植物可以固结和存储大气中的氮，然后提供给种植在其间的树木。在复垦场地范围内，有许多树种都成功地使用了这种方法(Moffat *et al*.,1989)：他们既能纯粹是豆科植物(见插页图片㉑和图片㉒)，也能与其他草类混合种植。场地特性将影响草种的选择，表 6-1 提供了供选择用的豆科品种信息。也可以将豆科植物与禾本科植物混播，以增加地面覆盖。

大多数豆科草本植物和灌木是用播种方法种植的，但有时最好种植长势较好的单株灌木，以控制场地草类长势并取得更精确的空间。种子播种在易碎土壤材料上、没有压实或没有石头或岩石的场地比较合适。

表 6-1　　适用于地面植被覆盖播种的豆科类植物

(引自 Jefferies,1981;Vogel,1987)

种　　类	生命期	土壤 pH 值范围	养分要求	允许限度	
				干旱	渍水
树羽扇豆	一年生	4.5~7.0	L	T	MT
持久的豌豆	多年生	4.0~7.5	L	T	MT
白花苜蓿	多年生	5.5~7.0	VH	S	MT
红花苜蓿	两年生	5.0~7.5	VH	MT	S
鸟足三叶植物	多年生	4.5~8.0	M	T	MT
红豆草	一年生	6.5~8.0	M	T	T
莲豆草	多年生	4.0~7.0	M	MT	T
紫花苜蓿	多年生	5.5~8.0	VH	T	S

注　L 为低, M 为中, VH 为很高, S 为敏感, MT 为中等允许限度, T 为允许限度。

一些豆科类植物的种子需要机械松土来打破蛰伏状态,特别是羽扇豆类和豌豆类(Best,1983)。所有豆科种子在播种前应与适当的根瘤菌菌株接种。绝大多数豆科种类的孕育剂可以在农业基因有限公司购买(地址见附件六)。

五、植树

这一部分讨论在废弃地上种树的原则,并对树种选择以及种植的管理技术给予指导。

(一)树种

在人造复垦场地上造林,树种的选择是一个非常重要的因素。这取决于造林的目的和场地的条件,后者应比前者更为优先。换句话说,重要的是树木栽在上述哪种场地上后能良好地生长。在人造场地上种树的一般策略是选择对场地相对没有什么要求的"先锋"树种。

影响树种选择的场地条件,包括表层土的可用性、土壤湿度状况、土壤化学反映(pH 值)、污染程度、当地气候和地面裸露情况。

另外，规划要求(乡土林地树种优先)、野生动物、游览和娱乐要求、生产木材原木等，也将影响树种选择。表6-2列举了适合于大多数复垦场地种植的树种。该表比较保守，假设场地与未扰动的地层相比，养分有所减少。如果复垦包括表层土的利用，那么，则要求考虑更多树种，如柃木等。云杉只能种在降雨量多的地区，而道格拉斯冷杉和山毛榉对场地条件的要求不是太苛刻。从古老林地树种可以受到启示：在扰动土壤或废弃堆上树木的种植计划中，应拒绝采用如野生唐棣树木和卫茅等植物。

(二)混交种植

在许多复垦场地，树木的种植应成种群或与不同树种混交种植，因为人们发现这种种植结构从视觉上比较吸引人，生态上的多样化比单种栽培或简单的行间混交要好。有些树种可以为其他树木带来好处，如挡风和提供养分。桤木就有这样的特性，在贫瘠的场地上长得也特别快(Moffat, *et al*, 1989)。桤木是一种特别的树种，它能通过与微生物瓣鳞泥(Frankia spp.)之间的共生关系来固氮，形成根瘤菌。这是一个很好的例证，在贫瘠的场地，把需要氮的树木与桤木混种，这种树木就能够从桤木那里获得养分。但是，在移栽时，必须选用根瘤菌发育良好的桤木树苗，没有根瘤菌的桤木树苗，应作为不合格树苗予以剔除，因为相比之下它们的生长较缓慢(见插页图片㉓)。

虽然，我们常常发现树木总是紧挨水域生长，而桤木则在不长期被渍水的土壤上长势要好些。这里对可用于复垦场地的六种桤木进行试验，西特卡桤木和绿桤木有灌木丛生的习性。绿桤木在没有与其他混交树木发生竞争的情况下，产生的生物量很大(Vann *et al*.,1988)。其他四种品种(普通桤木、灰桤木、红桤木、意大利桤木)生长很快，即使在很贫瘠的场地混合种植，特别是在间距很密，或在密集的单株混交种植地，桤木长势总是超过其他树木，遮住阳光，遏制其他树木的生长。在这种情况下，也许有必

表 6-2　　　　　　　适应于人造复垦地的树种

品种	黏质土	石灰质土	酸性土	暴露	空气污染	说明
阔叶树						
白蜡树	×	··	×	×	×	仅限固氮的肥沃土地
普通桤木	··	·	·	·	··	
柳树	··	··	×	×	·	
白桦树	·	×	·	··	··	
英国橡树	·	·	·	·	·	
假刺槐	·	·	··	×	··	仅限固氮的肥沃土地
野枫树	·	·	··	·	·	
羊柳	·	·	·	×	··	
灰桤木	··	·	·	·	·	固氮
灰杨树	··	··	·	··	··	
山楂树	·	·	·	··	··	
意大利桤木	·	··	×	×	··	固氮
挪威枫树	·	··	×	··	·	
红桤木	··	×	·	··	·	固氮
红橡树	·	·	··	·	·	
花楸树	·	·	·	··	·	
银白桦树	×	×	··	··	··	
瑞典白面子树	··	·	·	·	·	
埃及榕树	·	·	·	··	··	
白面子树	··	··	··	·	·	
白杨树	··	×	·	··	··	
野樱桃	×	·	×	×	·	仅限肥沃土地
针叶树						
科西嘉松	·	··	··	··	··	外径在 250m 以下
欧洲落叶松	·	×	·	·	×	
日本落叶松	·	×	·	·	·	
美国黑松	··	×	··	·	×	仅在北部
苏格兰松	×	×	··	··	×	
西特卡云杉	·	·	·	··	×	仅限肥沃土地

注　··表示适应,·表示中度适应,×表示不适应。

要修剪桤木枝条。当然仔细考虑种植的间距或选择混交方式，能有助于把这一影响减到最小。

其他混交方式也可采用，如在苏格兰的露天开采煤矿区，西特卡云杉与日本白桦树混交，在康沃尔(Cornwall)的高岭土废弃堆上，科西嘉松与绿桤木混交(第九章)。

(三)苗木的类型和大小

在复垦场地种植的树木，一般都来自为保护环境而建立的苗圃。苗木的类型，从小的籽苗到大的标准苗木都有。可是，过去的经验表明，较大的苗木更难以种植，特别是在没有合适的表层土的地方或易于破坏的场地；而很小的苗木也易于冻坏，并难以与杂草竞争。移栽、切根及育苗器培育的苗木几乎对所有的人工场地都是最适合的。

(1)移栽苗木是高度小于 1.2m 的小树，苗龄最长为 3 年或 4 年。它们作为籽苗培育 2 年，然后移栽到田里以改善其生长和根部发育。移栽的苗木，依据每个阶段苗木生长年份的长短，进行分类编号，如：$1+1$，$1\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}$，$2+1$。

(2)切根的苗木和移栽苗木大小相同，但是要精心播种，在第一个季节或其后的部分季节里，与一般的籽苗一样生长，然后，在它们生长侧根和下根的苗床上将根切下来，这种处理能改善根系，控制树木高度和生长。经切根的苗木，也用类似移栽的方法进行编号，如：$\frac{1}{2}\mu\frac{1}{2}$，$1\mu1$，$1\mu1\mu1$。

(3)容器里培养的苗木，不管其大小、苗龄和形式都是有用的。可是，小的幼苗通常最适合大面积种植。容器对于改善敏感性林种如科西嘉松(Coppock，1986)的种植大有好处。对其他许多树种也有益处，因为种植时对根部破坏最小。还有一点需注意，用容器培育的苗木，把它们留在容器中的时间过长，或者种植的时间不适

当，成活率都可能会降低，因为从芽枝到根部发育不均匀。在苗木情况相似的情况下，容器培育的苗木通常成本要比移栽高得多。

苗木的大小对种植后的成活率影响显著，故在复垦区需要选择强壮的苗木，并有好的干径与干高的比例。乔布林（Jobling）和史蒂文斯（Stevens）（1980）给出普通树种在四种高度级别下的最小直径规格（见表 6-3）。这些规格比颁布的 BS3936 第 4 部分（英国标准研究院，1984）中的数字更精确些，也许适用于人造场地。种植时，苗木的主干高度最小值和最大值很难给出，因为要考虑的因素很多，但是也有一些一致的意见，阔叶树苗木的理想高度为 300～600mm，针叶树合适的高度为 100～200mm。大于正常高度的树木，就要借助于“承窝”，以防止大风损害两旁的种植树穴。

表 6-3　种植在煤矿废弃堆上的苗木的最小直径规格

（引自 Jobling & Stevens，1980）

品　种	不同苗高根茎的最小直径（mm）			
	200mm	300mm	450mm	600mm
桤木			10.5	14.0
白蜡树			9.0	11.0
白桦树			7.0	9.0
黑刺李			8.0	11.0
普通橡树		6.5	8.5	
普通荆棘			6.5	9.0
金合欢树			7.0	10.0
针叶树		5.0	7.0	
枫树			9.0	12.0
松树	5.0	7.0		
红橡树		6.5	8.5	
瑞典白花楸			9.5	13.0
白杨树			9.0	12.0
白柳树			7.0	11.0

(四)处理

苗木从苗圃出土到种植在地里,暴露在土壤外的时间越短越好,这样才可以避免损失。特别是遇到恶劣的或严酷的场地条件,这一点尤其重要。

在苗木休眠季节(晚秋前),裸根种植的苗木从苗圃提起,然后按大小分级,密封及安全地装入双层模压的聚乙烯袋子,即可以冷藏或运往种植场地。袋装的苗木在避光和潮湿处能做短时间的存放,如可存放在冷的荫棚下或在茂密的树冠下。

在种植场地,可以将袋装苗木打开口放在较凉的树荫下,但只能放几天。当种植人员把苗木从聚乙烯袋子里拿出来种植时,必须尽快放入种植袋,以确保苗木根部得到保护,防止脱水。在运输过程中,为减少对苗木的损坏,树袋不能粗糙地处置、随便地放在地上,或紧紧地堆在一起。

用容器培育的苗木,在送达种植场地时仍然要放在原先培育的容器里。但有些苗圃在苗木发货前把容器取下,把苗木放入袋子或盒子。在这种情况下,苗木的装卸也必须同裸根苗木一样小心。

(五)种植方法

种植方法的选择取决于所用苗木大小和培育方式,以及场地耕作形式。如果是移栽,那么就采用切根和较小的容器苗木,凹槽种植是最适合的方法。这一方法就是在地上用铁铲挖个凹型槽,槽口敞开,把树根小心插入,使其向下舒展放好。然后用足尖把凹槽小心踩实。同时,把苗木轻轻往上提,以确保苗木根茎与地面保持齐平(见图 6-3)。

凹槽种植法不适合在黏土上种植苗木,也不适合较大苗木和容器培育的苗木种植。凹槽种植法适用于下述几种情况:所挖的槽能容纳整个球状的根系,使所有须根不被压弯;苗木周围的土壤应仔细还原以及在苗木周围踩实,并与凹型坑种植法一样使根茎

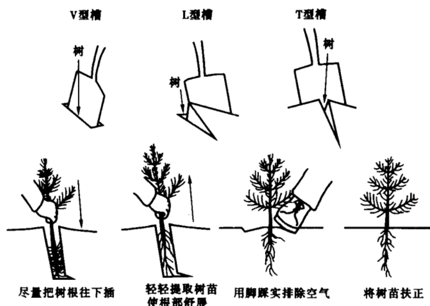


图 6-3 树木种植示意图

(摘自 Dobson and Moffat, 1993)

与地面成一直线;容器培育的苗木应在种植前从容器中取出,即使是有生物递降分解作用的容器,也会抑制根部生长。在林业种植中若是用土坑回填,没有必要考虑应用土壤改良物,可使用泥炭土或泥炭替代土(Potter, 1989)。

对于翻耕的地层,重要的是仔细选择种植的位置,它与翻耕工具留下的微地形有关。把树木种在粗齿锯、圆盘耙或犁沟的底部,根部就会沿沟槽优先发展(Edwards *et al*., 1963),而在这些位置种植会使苗木遭受渍水,可能会导致根部死亡。最好种植在隆起部位、圆盘耙或犁耕的地垄上,但这也取决于地垄的大小、形状和高度。在一些场地,把苗木种在高的地垄上,也许会让苗木处于脆弱、暴露或干旱境地。明智的折衷办法是将苗木种植在地垄的两侧。

(六)种植时间

树木应在休眠时种植,通常在晚秋到早春之间;在全国的不同

地方，种植的时期将因位置和气候条件的不同而不同。在英国北部，通常在冬季是不能进行种植的，因为那时是冰天雪地。而春季种植时间可以延长，因为可以使用冷藏法使植物一直保持休眠，一般应在3月底完成，这样就不考虑苗木储存。

（七）间距

有许多因素如场地特性和树种的选择会影响树木间距。在英国，种树间距通常采用2m，也就是苗木密度为每公顷2 500株。但在不肥沃的复垦场地种植，苗木生长慢，较近的间距对加快地面覆盖物的郁闭也许是可行的。如果场地许可，树木种植间距应按行有规则地排列，这种情况通常由在耕作或剥离操作过程中形成的地垄所支配。规则的间距便于以后的养护管理，如松土、除草和施肥。

（八）直接播种

80年代，在人造复垦场地，以直接播种造林取代苗圃育苗的观念流行起来（Luke & Macpherson，1983；La Dell，1983）。人们认为直播造林有许多优点，包括显而易见的低成本以及构筑许多种类不同的树木群体（Luke & Macpherson，1983）。种子和播种的成本大大低于苗木和种植的费用。另外，在养护过程中，播种区可以自我间苗，节省开支（La Dell，1983）。

直接播种也有一些不足之处，主要是是否能成功难以预测，苗木长得不规则（Stevens *et al*.，1990）。还很难准备一个合适的种子床（Buckley，1984），而杂草竞争与播种日期提早是苗木瘦弱的主要原因（Stevens *et al*.，1990），这对苗木生长不利。巴克利（Buckley，1984）认为播种的发芽率和早期成活率可能要比富有生命力的种子播种低5%。

对直接播种与常规种树两种方法的比较已有一些精确的研究。卢克等（1987）的研究是在贝德福德郡的沙料场作业面上进行的，对橡树、花楸果、苏格兰松树、白桦树和四种灌木进行了非重复

试验，发现有两个树种（花楸果和白桦树）在5个月后没有发芽的迹象，而灌木（特别是白羽扇豆）比其他树木（橡树、松树）的发芽情况都好。相反，松树和橡树移栽在整个植树小区里一贯是成功的，其成活率达到50%～98%。

帕特韦恩 Putwain 等(1988)研究了在道路两边直播建设休闲林地。他们发现在播下的13种乔木和灌木品种中，仅有一个品种——金雀花在第一个生长季节发芽率高，绝大多数的品种没有发芽，直到播种后的18个月到22个月才发芽。有四个品种发芽状况很差，在随后的几年中其生长状况也明显地变差。

尽管在80年代人们对使用这种方法有积极性，看来直接造林还不能推荐为矿区复垦和废弃地复垦林地建设的可靠方法，特别是对于那些只准有5年养护期的场地。在如此短的时间内，要获取合适的树种组成和苗木密度是很重要的，而常规种植方法是达到这些目的的惟一方法。

六、杂草的控制

哪里存在杂草或已播种的植被，哪里就需要对每棵树周围进行除草，以清除杂草对树木构成的威胁，减少杂草与树木竞争水分和养分(Davies, 1987a)。研究表明，杂草的存在，会使树木的成活和生长大大地受到影响。控制杂草的最好方法是使用经批准的适合林业使用的化学除草剂。有几种化学除草剂可以使用，有的除草剂是通过叶子作用于杂草全身；有的除草剂是放入土壤中通过杂草的根部起作用。除草剂的使用范围以及它们的使用指南，林业委员会的田间手册中(Williamson & Lane, 1989)，有详细阐述。

现已表明，在需要控制杂草或植被的地方，除去每株树木周围直径1m的地方的杂草，就可有效地缓解杂草对树木构成的竞争。使用除草剂控制杂草一般在树木生长的前3年，当然也取决于树木的成材期的长短。要使树木成活率达到最高以及生长良好，在

种树的第一年就应彻底控制杂草的竞争。复垦场的杂草数量在不同时期也有很大差别，因此，在整个生长期内应定期对使用除草剂的剂量进行估计。

使用黑色聚乙烯地膜覆盖也是控制杂草的有效方法。其作用是通过窒息来阻止杂草生长，而且能在 2～3 年内有效控制杂草(Potter, 1989)。地膜覆盖是在除草剂不能保证的地方可以使用的一种较好的方法。

在有些场地，特意在小树周围种上一些草来美化环境，有时还需要修剪，特别是在公众出入比较多的地方。可是修剪会刺激草皮，导致土壤水分亏损，给树木带来不利的影响(Davies, 1987a)。而机械除草，如果离树干太近也会损害树木，因此这些做法应尽量避免使用。

七、树木保护

有许多大大小小的动物，包括田鼠、兔子、野兔、松鼠、鹿以及农场家畜等，都会对树木造成破坏，如啃树皮、吃嫩叶或挖洞。如果不能限制这些动物的活动，树木就会受到严重的破坏甚至死亡。同样，在小树生长的前几年也需要防御人类的破坏。

(一)围墙防护

对于面积大于 $2hm^2$ 的林地，通常使用围墙进行保护(Pepper, 1992)。在规划中应对围墙的形式和修建的技术要求有所规定，充分考虑杜绝动物等的侵害。《矿区和料场法》(1954)中规定，建立围墙是为了公众的安全。在小于 $2hm^2$ 的地区，采用其他的树木保护形式包括田鼠和兔子的防护器、塑料网和树木保护屏障(Potter, 1991)也许会更划算。

(二)单株树木的保护

树木屏障是将半透明的聚丙烯管绕在树周围，然后用木桩固定。这种保护还可以增加一个微型温室，给树木创造一个有利的

小气候。塑料材料遇光会老化，一般设计寿命是5年。树木屏障高1.2m，原先的设想是用于需完全屏障的阔叶林树种的林地。在复垦区仅做了小型试验，但在裸露的场地可能会被毁掉，这种情况下，高0.6m的屏障可能会是最好的选择，但前提是必须没有鹿。

田鼠有时也会带来威胁，特别是在杂草控制差的地方，控制比较好的地方这个问题就小些。因为田鼠不喜欢在裸露地上穿越，但大量的田鼠会对树木造成严重破坏，甚至一些大树也会因田鼠破坏而死亡。田鼠防护是将剖开的塑料管盘绕在树木周围，缠绕高度为200～300mm。另外，还应考虑将管子伸入地下，以防止田鼠接近树木。

八、管理——残缺补植

有些损坏在种植后最初的前几年是不可避免的，一般无需进行补植，除非是出现明显的空缺，或苗木密度小于80%。如果需要补植，应在初始栽植后尽早进行，过迟将增加植被间竞争的可能性，延长杂草控制期。然而，在补植前要认真考虑种植大范围失败的原因，这一点很重要。如果是不适应场地环境，那么就应该改善环境，或者避免种同类的不适合该场地环境的树种。在开发林地时，留下开阔地作为林间通道，可以增加场地的多样化、环境保护及娱乐的价值(土地能力咨询，1989)。

九、营养

树木健康和良好成长取决于能否有效利用土壤或成土材料中的主要养分。然而，营养缺乏是人造场地普遍存在的问题(见第二章)，主要是因为缺乏表层土，通常的原则是选择一些相对耐贫瘠的树种。但是，在一些场地，就是这些耐贫瘠的树种也可能因营养缺乏而不能很好生长，必须通过施肥改良场地的营养状况。

(一)土壤诊断

哪些土壤因为缺乏营养需要施肥,确定的原则是根据场地的复垦方式,依据使用的土壤或成土材料进行评价。对于某些地层,一方面,可以以某种置信度预测出需要某种肥料,例如,粉化燃料灰通常是缺乏宏观营养如氮素和磷素。另一方面,可以通过采集分析土壤样本获得其营养水平的信息。

第三章中给出了土壤调查和取样的方法。取样密度取决于使用土壤的不均匀性、需要信息的精确度以及现有的资源。如果资源有限,土壤上层抽样是最重要的,虽然从整个树木预期的扎根深度取样也能提供有价值的辅助信息。

植物营养的分析对评估肥料的需求是非常有用的。通常使用各种提取剂来确定。如果是缺磷素,可推荐使用布雷(Bray)和库尔茨(Kurtz)(1945)的方法;如果缺钾肥、镁素、钙素,MAFF(1981)法是最普遍使用的方法。对有效氮还没有合适的方法;但是对有机碳和总氮量的分析可以用来评价土壤含氮状况。埃弗里(Avery)及巴索姆布(Bascomb)(1982)已提供了相应方法。微量营养元素的缺乏很少见,除非土壤 pH 值高,通常不推荐使用分析来确定土壤中微量养分的含量。

(二)叶面诊断

一旦种上树木,就要对树木在生长季节中任何缺乏营养的迹象定期进行检查。这些迹象包括生长慢、针叶树或阔叶树的树叶变小、变黄、过早衰老或叶子凋落、小树过早开花。在实际中,观察出这些特征差异的例子,是由宾斯(Binns)(1980)和泰勒(Taylor)(1991)提供的。如果在单株树上偶尔发生这种迹象应引起注意,而大面积出现这种迹象就要进行深入的调查。有些迹象是由于其他造林问题而引起的,如杂草竞争、渍水、压实或气候影响。

如果认为营养缺乏发生在树高 3～4m 时,应从树上取树叶样本,然后,按附件 8 的方法进行操作。样本不能从刚种 2 年的树木

上获取，因为这时树木营养仍然受以前苗圃处理的影响。设在林业局研究处的爱丽丝霍特研究站可提供叶面分析服务（见附件8）。

（三）施肥

在营养缺乏的地方，必须考虑最适合的补救措施。如果是杂草问题、渍水造成营养缺乏就没有必要施肥。这种情况下最好是寻找发生问题的根本原因。如若营养缺乏是由于地层的肥力不足，提供无机或有机肥就是最快速最方便的补救方式。

1.矿物肥

泰勒（Taylor）（1991）给出了肥料的种类以及林地施肥的合适数量。在种植时或种植过后不久，施一次磷肥或钾肥（足以维持树木生长循环）。可是，最需要的还是定期施氮肥，特别是在没有表层土的地方或种植了更需要氮的树种如西特卡云杉树。

以往曾建议在树木种植时不要施肥，等3～5年后让根系发育到能够吸收营养时再施肥（如Wilson，1987）。可是，近年的研究认为适度地、小心地施肥对树木生长是有益的，甚至在树木种后的第一年也能获益（Gilbertson *et al.*，1987）。因此，对缺乏营养的场地进行早期施肥是大有益处的。

使用安装在拖拉机上的撒料器进行施肥，只限于耕作前。更常用的施肥方法是撒播，使树木之间及周围的整个地面都被肥料覆盖。施肥会导致杂草生长茂盛，这几乎是不可避免的，所以控制杂草生长是非常重要的。

2.有机肥

混合废弃物、马和其他动物粪便都是较好的有机肥，如果在大范围内使用，这些有机肥的数量是远远不够的。而污泥到处可得（见插页图片㉔），它含有可用的氮和磷。污泥的养分含量因所产生的地点、形式不同而变化，表6-4给出了典型污泥的养分含量值。许多养分是有机物，远比常规矿物肥释放得慢。另外，污泥中

的有机物含量有助于改善土壤结构。图 6-4 是日本落叶松在沙地覆盖层上使用矿物肥和污泥对树木生长反应的对比。

表 6-4　　典型污泥的营养成分含量

污泥类型	养分总量		有效含量[①]	
	N	P	N	P
未消化液体(kg/m^3)	1.8	0.6	0.6	0.3
已消化液体(kg/m^3)	2.0	0.7	1.2	0.3
未消化的饼(kg/t)[②]	7.5	2.8	1.5	1.4
已消化的饼(kg/t)	7.5	3.9	1.1	1.9

注　①在第一个生长季节有效；②潮湿时的吨数。

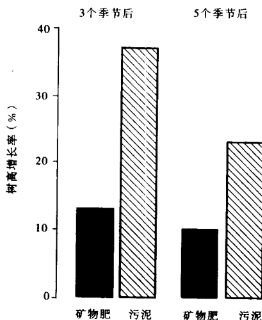


图 6-4　日本落叶松在使用矿物肥和污泥的沙地覆盖层上的生长情况对比

在复垦地施污泥将改善树木的生长，有助于建立地表植被覆盖。在有些情况下，可能需要增加除草次数。可是，对于那些容易引人注目或是有明显土壤侵蚀危险的地方，快速绿化是十分有益

的。

无论是在场地预规划阶段还是在运用期，使用污泥要比使用矿物肥更加小心。《造林使用污泥安全实用手册》(Wolstenholme *et al.*,1992)讨论了使用污泥的安全性和环境方面的因素，该手册还给出了有关程序以及法律和健康方面的信息。

污泥以含重金属而闻名。金属含量主要由来源而定：来自乡村的污泥中金属含量相对低，而那些来自受工业影响的地区的污泥中金属含量相当高。事实上，有些金属是植物的微量营养元素，并在量少时对树木有益。然而一切重金属如果其含量高出临界浓度都会有毒性。基于这一缘故，无论在何种情况下，应用前必须对污泥和土壤进行分析，以确保这些金属在土壤中的含量不超过最大允许浓度。

饼状固体污泥比液状污泥含有更多干性物质，但组成类似于混合肥，适合于耕作前施用，大约每公顷要投放 100t 固体肥，关键是在施肥时要与表层土充分掺合。在已有树木的地方，可在叶面上施液体肥。为了把水污染的威胁减到最小，在植被覆盖建成之前，要采用低的施用率，其施肥量不要超过每公顷 $100m^3$。当作物需要进一步的养护，施肥量可以增加到每公顷 $200m^3$。在坡度为 15°～25°的坡地上，上述建议的施肥量应减半。在坡地超过 25°，或者土壤遭受长期渍水的地方，也不能施用污泥。

液体污泥肥的使用，必然会带来对水的污染，如果能沿排水渠或水道适当的地方建立苇地处理系统，就会减少这种威胁(Copper,1990)。

有时泥炭土被认为是一种有机“肥”，特别是用在回填植树坑时。虽然一直提倡把它作为完整土壤用于覆盖层，但尚未找到充分的理论支持(Davies,1987)。

第三部分

特殊场地的复垦策略

第七章　废弃土地的复垦

一、概述

“废弃地”，官方定义为：被工业或其他开发破坏了，而不经整治无法利用的土地称为废弃地(环境司，1991c)。

大多数废弃地的产生是由于工业财富的变化而放弃工业活动所形成的土地破坏。它们可能受到一系列特殊问题的影响，不仅仅是因为土地采矿，还有一些问题对于复垦成林地也是很重要的。本章介绍影响废弃地复垦成林地的一些最重要方面。在第五、六章中阐述的复垦技术大部分适用于废弃地的复垦，而土壤污染则需要另外处理。

二、废弃地的特性

(一)历史资料缺乏

许多废弃地的历史资料是不完整的，有的废弃地几乎没有人了解它以前的使用情况。许多场地一直被用于重工业，对土地所造成的累积影响是很大的。如果对这些工程和废弃物或副产品的记录都很少，那么，在场地被认为安全以前——为了人类的健康或种树计划的可行，有必要做翔实的调查工作。

(二)场地的变异性

许多废弃地都曾是原来的料场、采矿场，或者是处理废弃物和覆盖层材料的场所。这些场地的地形十分复杂，在再开发包括林地建设前，重整地形是非常必要的。

废弃地的土壤差异也很大，特别是如果土壤材料是从外地运

来的，土壤与废弃物形成鲜明对照。这种不均匀的土壤结构将给选择合适的树种带来很大困难。

(三)场地的不稳定

许多废弃物堆是用机械堆筑而成，堆体不稳定，特别是在坡度接近自然休止角而且植被很少的情况下。废弃物堆表面会遭受风化和侵蚀，排水不良又会造成更深的底层破坏。通过建立排水系统和重整坡度可以处理边坡的不稳定性；种植树木也有助于增加边坡稳定(见第二章)。总之，重新调整废弃物堆的坡度将会有利于树木的生长(条件是在调整坡度过程中不能将土壤压实)。

(四)污染

1989 年，英国受潜在污染的土地数量估计约为27 000hm^2，占全部废弃地的 65%(Beckett *et al.*，1992)。虽然这个数据可能不是很精确，但足以证明污染已是很普遍的而不是例外。许多废弃地含有一系列有毒物质，这对动物和植物都有害。一些金属元素是有毒的，有些物质是腐蚀性的或有致癌作用的。表 7-1 给出许多与工业活动的特定形式有关的污染类型。不同的污染物造成

表 7-1　普通污染物和有关的工业活动(摘自 ICRCL，1987)

污染类型	可能发生的场地
有毒金属如镉、铅、砷、汞其他金属，如铜、镍、锌	金属矿区、钢铁厂、铸造厂、冶炼厂、电镀、阳极氧化和电镀厂；工程车间，如造船；碎屑场院和报废汽车拆卸场地
易燃物，如煤和焦炭粉末	电厂、铁路、煤气制造厂
易燃气体，如沼气	填筑场地、填筑码头地基
腐蚀性物，如硫酸盐、氯化物、各种酸	用炉渣铺地面，包括来自鼓风炉的废渣
油和焦油物、石碳酸	化工、冶炼、副产品加工厂，沥青蒸溜室
石棉	工业建筑场地、废弃物处理场地

的不同危害，决定了所建议的后续土地利用情况。对于种树，重金属含量或许是要考虑的最重要方面，若建设公共林地，那么其他污染物如砷、氰化物、多核芳香碳氢化合物、苯酚、硫酸盐等也应予以考虑（因为孩子们会在社区林地玩耍）（英国标准研究所，1988）。

（五）土壤贫瘠

大多数废弃场地不但缺乏表层土，所有天然土壤材料都可能缺乏。因此，植物养分缺乏就很普遍，可能要选择特殊的树种，并另外补充肥料来促进树木的生长。

（六）排水不良

由于排水系统受到开挖和倾卸活动的干扰破坏，场地淹没时有发生。

（七）地下障碍物

废弃地上常有倒塌或毁坏的建筑物，同时有砖及混凝土块或管道埋在下面。这些障碍物会阻碍正常运行和耕作。

（八）邻接地区

废弃地周围常有因经营不善而经济上承受一定压力的邻接地区，因为在该地区很少有娱乐设施，破坏行为很普遍。废弃地可作为飞翔的山顶、摩托车比赛场和其他活动场地，即便是已经在复垦，这些活动也会给造林增加困难。

三、废弃地调查和评估

在种植计划起动前，要对废弃地种树的生长潜力进行评估，这一点很重要。信息应分阶段逐步获取，以不断增加信息量，从而了解有关场地的特征，这就需详细的评估。布里奇斯（Bridges）（1987）对如何进行详细调查和评估做了详细说明。初期评估应搜集一些资料，进行现场考察，取少量的土壤样品进行简单的室内试验，必要时派专家进行包括土壤资源、污染物、肥力、排水、水文地质及地形在内的调查。如果开始的调查结果说明该地区有严重污

染问题，就要进行更多的抽样试验分析。最后阶段的调查完成后，就可以起草复垦规划。如果该场地已被确认缺乏土壤材料，那么就需要修改当初预定的复垦目标。

当建议在废弃地上造林时，废弃地调查必须注意以下四个方面的重要问题：

(一)场地是否能支持树木生长

要回答这个问题，必须获取以下重要信息：①植物毒性污染物是否存在及其形式；②土壤或废弃物的肥力及贫瘠程度；③场地内土壤或合适的成土材料的数量和物理特性；④场地排水；⑤场地地形。

(二)种树后，场地是否仍然会有危险

需获取的资料包括：①土壤或废弃物中动物毒性污染物是否存在；②地面及地表下是否存在危险物；③污水池及矿井是否存在；④坡度稳定性；⑤侵蚀的危险；⑥排水的水质。

(三)树木的生长是否对场地产生不利影响

可能出现的问题包括：①通过树根对污染物吸收，然后，输送到叶面，最终随着落叶落到土壤表面；②树木的长期生长会造成地层的酸化，增加污染物的可溶性和迁移率；③设计出用于覆盖或封闭污染物质的压顶材料的贯穿深度或土地填筑物深度；④因风吹蚀使土壤表面的工程压顶层或污染物质层暴露出来；⑤在有些场地，成材树木的收获会造成边坡不稳定。

(四)怎样管理林地

林地建设的最初目标，从林地管理和收获角度决定了该场地应该怎样进行检查。场地排水和地形是影响管理运作如清理和间苗的最重要条件。

四、被污染的土地

污染土地再开发部际委员会(ICRCL，1987)和英国规范研究

院(1988)给出了土地潜在污染鉴别及调查的一些有价值的导则。污染的鉴定通常要将一系列文件、证明包括现场观察、土壤或废弃物样本的室内试验分析结合在一起。植被覆盖的类型常能说明维持树木生长的土壤的生产能力,植被少而又无明显的理由的地方,就应怀疑是有污染,需进行深入的调查。

污染物可简单地分为两类:植物毒性污染物和动物毒性污染物。植物毒性污染物通常不会伤害人类健康(ICRCL,1987),附件9和附件10给出一些污染物暂定的触发(危害)浓度。附件9中列举的值是对公园、玩耍场地和公共空地而言的,因为那里没有有关树木的数据。给出的这些值必须按照复垦形式和场地形式作出解释。如果土壤污染浓度超过了危害浓度的阈值,那么就不能考虑种树。另外,危害浓度是以略有酸度的土壤为基础的,在酸度过大的地层,有些树种长期生长着,那么,某些污染物的毒性可能会加大。污染土地再开发部际委员会建议,当进行污染物调查结果解释时,必须应用"专业评价"。

在严重污染的土地,有一个或多个危害浓度值大大超过阈值,在种植树木前应考虑补救措施。可有以下四种选择:①把污染土壤挖出来,放在别处进行处理,并随即用干净的中和性填料掩埋,以隔离被污染的土壤;②用适当厚度的干净的中和性填料掩埋,以隔离被污染的土壤;③用化学、生态、物理方法处理,来消除污染或制止它的迁移;④把干净的成土材料与污染土壤材料混合,减少污染物浓度,使它低于危害浓度的阈值(ICRCL, 1987)。

把所有污染物运走的成本是非常高的。污染物仅允许运送到有执照的毒性废弃物处理场地,运送距离往往相当长。所以,对污染土壤进行现场净化和处理的技术在部分欧洲大陆变得越来越重要(Thornton,1991),但在英国还未充分进行试验。掩埋通常是最常用的方法,使用的材料有黏土或合成垫料,目的是把污染的土壤与它上面的土壤隔离开。树根和掩埋系统之间的相互作用,将在

第八章中进行讨论。

五、废弃地的补助金

废弃地补助金(DLG)是废弃地复垦的主要财政来源。在废弃地补助金规划中,优先考虑的是"那些由于现有的条件减少了生活、工作或投资的吸引力,或因为污染和其他理由威胁到大众的健康和安全的自然环境"(环境司,1991c)。现在废弃地补助金可以用于复垦,包括种树,例如在社区林地(环境司,1991c);还可用于补救工作,处理由于关闭填筑场地而产生的土地填筑气体的影响。建议在废弃地补助金中抽出部分资金用于林地建设前的勘探工作。

第八章　废弃物填筑场地的复垦

一、概述

在英国,土地填筑是处理废弃物最普遍的形式。它与采矿工业紧密关联,因为大多数土地填筑是在采矿期间做的。如今,在英国有 4 200 个场地被批准可以接受废弃物。有 6 000 个场地已被填筑,(Knox,1989)。这是一块很大的土地——总面积达 5 万 hm^2。虽然过一定时间后,其他形式的废物处理,如焚烧、再循环可能变得普遍,但土地填筑在整个 90 年代可能仍然是最重要的。随着矿区复垦成林地的面积的增加,必须尽可能在土壤覆盖的前提下利用这些土地填筑场。另外,许多场地被指定为社区的造林地,而以前是用于处理各种废弃物的。因此,重要的是在种植树木前,正确评价土地填筑带来的特殊问题,以及确定解决这些问题的补救措施。

二、填筑场地的环境

废弃物通常按照表 8-1 的标准分类。只有极少数场地会用于特殊的废弃物处理,大多数填筑场地可接受一种或很多种无毒的废弃物。然而,无论用何种废弃物作为土地填筑材料都会导致环境问题,特别是在人造场地上。现就其中最重要的方面加以讨论。

(一)填筑材料的气体产物

填筑材料所产生的气体是多种气体的复杂混合物,由生物递减分解作用形成,或由容易腐烂的废弃物产生(见表 8-2)。它的主要成分通常是沼气和二氧化碳,虽然也有其他气体,如硫化氢。

表 8-1　可控制的土地填筑废弃物的分类(经 RMC 校正,1987)

废弃物分类	说　　明
非活性废弃物	从土地开挖中获取的材料,没有改变它们的自然状态,包括砖或混凝土废弃物;以清洁填筑而著称属一级或 A 级废弃物
家庭废弃物	家庭废弃物和城市娱乐废弃物,属二类或 B 类废弃物
商业废弃物	商店或办公室的废弃物,属三类或 C 类废弃物
工业废弃物	工业活动中产生的废弃物,属四类或 D 类废弃物
特殊废弃物	包括酸、碱、有毒金属合成物,其他有机和无机合成物,如氰化物和石碳酸

表 8-2　典型的填筑材料产生的气体组成(环境司,1991d)

成分	特征值 (%,体积百分数)	观测最大值 (%,体积百分数)
沼气	63.8	88.0
二氧化碳	33.6	89.3
氧气	0.16	20.90
氮气	2.4	87.0
氢气	0.05	0.09
一氧化碳	0.001	0.014
乙烷	0.005	—
乙烯	0.018	—
乙醛	0.005	0.017
丙烷	0.002	0.023
丁烷	0.003	0.023
高炔	<0.05	0.07
不饱和碳氢化合物	0.009	0.048
卤化物	0.000 02	0.032
硫化氢	0.000 02	35.00
有机硫化物	0.000 01	0.028
酒精	0.000 01	0.127
其他	0.000 05	0.023

土地填筑物中的易腐烂废弃物填筑材料产生的气体能存在几十年

(环境司,1991d)。通常沼气的含量最大,对植物来讲是无毒的(Flower *et al*.,1981),但从根部释放出氧后就会产生有害的作用。可是,其他气体成分如二氧化碳、乙烯、硫化氢是有毒的,如果超出标准会严重影响树木的健康(Dobson & Moffat,1993)(见插页图片㉕)。

(二)沥滤物

沥滤物是在土地填筑体内形成的含水成分,是水浸入与易腐烂材料相互作用的结果。所有家庭废弃物和大多数工业废弃物都会产生沥滤物。表 8-3 给出从家庭废弃物填筑场地产生的典型沥滤物的组成。

把填筑场地复垦成林地应关注的主要是在种树后所产生的沥滤物是否可能增加。而这种关注集中在树根可以为雨水浸入填筑场地提供有利的条件,因此增加沥滤量(环境司,1986)。多布森(Dobson)及莫法特(Moffat)(1993)对这一点进行了研究,断定按照现代标准进行施工的场地,几乎不可能产生这种情况。

在现代填筑场地,土壤中沥滤污染物相对较少,即使有,通常只限于场地周边。沥滤物的化学特性存在对树木造成毒性的征兆,主要表现在土壤的厌氧,因为土壤的需氧量很大(见表 8-3)。

表 8-3 近期家庭废弃物填筑场地的典型沥滤物组成(环境司,1986)

成分	含量(mg/L,pH 值除外)	成分	含量(mg/L)
pH 值	6.3	镁	252
COD(化学需氧量)	23 800	钾	780
BOD(生态需氧量)	11 900	钙	1 820
TOC(总有机碳)	8 000	锰	27
脂肪酸(如碳)	5 688	铁	540
氨态氮	790	镍	0.6
氮氧化物	3	铜	0.12
磷	0.73	锌	21.5
氯	1 315	铅	8.4
钠	960		

（三）温度抬升

在废弃物填筑材料中，微生物的分解与热能的释放有关，其结果是，填筑场地的土壤温度往往比未填筑矿区高得多。据记录，在填筑场地内地温高达60℃，而一般土壤的温度为30～40℃（Christensen & Kjeldsen，1989）。土壤表面的温度取决于废弃物上土壤覆盖的厚度（Moffat & Houston，1991），在覆盖层薄的地方，温度会超过40℃。在埃塞克斯（Essex）的皮齐（Pitsea）填筑场地的研究认为，要降低温度，必须保证有适当的土壤覆盖厚度。

曾经有人认为，填筑场地内产生的热量会直接损害树木的健康（Wilson，1991），间接危害是造成覆盖层土壤干旱，同时减少树木需要的水分（Binns & Fourt，1983）。可是，莫法特（Moffat）及休斯敦（Houston）却发现，地温升高不是减少而是能增加土壤水分，因为在填筑场地内，水分向上运动的速度超过了温度梯度（Ruark *et al*.，1983）。多布森（Dobson）及莫法特（Moffat）（1993）还证明，地温轻微抬高可能会促进而不是阻碍树木生长。

（四）沉降

所有填筑场地都会经历一些沉降，但沉降的程度主要取决于填筑废弃物的形式、填筑的厚度、填筑时压实操作的范围。压实良好的废弃物其总沉降量大约是10%，但压实不好的废弃物，其沉降幅度在20%～30%之间（RMC，1987）。填筑深的场地，这样的沉降意味着在覆盖表层土之前仍需要进行适当压实。虽然不均匀的沉降引起凹陷和空洞是常见的，但给规划林地的种植带来了困难。

三、填筑场地造林

在填筑场地造林的可行性，最近被环境司的多布森（Dobson）及莫法特（Moffat）（1993）审查过。他们建议把填筑场地造林分为三个阶段：复垦、养护、管理（5年以上）。

(一)复垦

在复垦阶段的运作包括形成最终的地形、填筑盖的设置、其他污染控制措施及填筑土壤或成土材料。

在设计填筑场地的地形时,应尽量使地表水流下来,使土壤渍水和水浸入填筑土壤的可能减到最小。建议最小坡降为5.5°～6.0°,以符合复垦矿区目前推荐的做法(见第五章)。在长坡面上,通过布设20～30m的等高戗台来防止土壤侵蚀。

填筑盖顶是控制污染的基本措施,它可用于减少废弃物水的渗透,因此可使沥滤物减到最少(环境司,1986)。盖顶还可用于保护种在上面的树木不受填筑物产生气体的危害。如果盖顶是矿物材料构成,就应该很好地压实,使盖顶的体积密度达到1.8～1.9 g/cm^3,渗透不超过 1×10^{-7} cm/s(环境司,1986)。在盖顶的构筑中通常使用黏土材料,但有时也使用一些人造衬砌材料,如高密度聚乙烯(HDPE)。

现代填筑场地常采用一些气体控制措施,包括在填筑盖顶下的气体收集,主动或被动排放到大气中。对已种植树木的填筑场,这样的控制系统是重要的,因为这样可以将废弃物产生的气体对树根的影响降到最低程度。

对于填筑场地的复垦以及对未填筑的矿区,有一点很重要,即树根的生长要有足够厚度的土壤或成土材料。为了不使树根延伸到土壤覆盖下的填筑层,多布森及莫法特(1993)建议填筑土壤的厚度为1.5m。土壤填筑应细心,建议疏松堆放(见第五章)。土壤材料应满足表3-2规定的最低标准。

(二)养护

养护阶段包括耕作、种植及必要的施肥、除草及防止动物破坏。在许多方面,养护操作与常规矿区复垦没有多大区别,不同的是种植的时间。

当发现填筑场地有明显的沉陷,就需要采取必要的补救措施。

重要的是5年的养护期是等所有的复垦工作完成后才能开始(Dobson & Moffat,1993)。而等主要的沉降或补救工作完成后就会延误树木种植时机,因此,要深谋远虑。在过渡期间,复垦采用临时的后续利用方式如种草也是必要的。有人曾建议,延长规定的管理期应作为新规划的一部分,其中包括中期恢复,在正常养护期之前必须先种树。

多布森及莫法特(1993)建议,选择的大多数树种要适宜人造场地(见表6-3),良好复垦的填筑场地需有许可的土壤条件(见插页图片㉖)。可是,在那些常刮大风的危险场地,选择树种时,应注意选择相对矮化的树木,即使树木被刮倒,盖顶暴露的危险也相对较小。选择小灌木或许是多风区填筑场地比较好的管理策略。

(三)管理

一切林地都需要管理。可是,在现代填筑场地的林地,其辅助操作主要是监测树根的生长情况。要了解更多树根的实际情况,多布森及莫法特(1993)建议取一些树的样本,在前期的20年中,每5年检查一次,看树根是否影响盖层系统的整体性。

第九章　特殊废弃物堆的复垦

一、概述

前几章，明确指出了矿区、废弃地以及填筑场地普遍使人困扰的问题，并提出了处理这些问题的一般的方法。本章讨论重点矿区、覆盖层和废弃物材料具有一定特色的土地的复垦。为了避免重复，仅仅对那些有关的特殊场地形式或材料的影响因素进行详细讨论；前几章所处理的影响因素如压实及肥力不足，对本章的场地类型也同样存在。

二、煤矿区的复垦

煤矿废弃物质仍然是一种重要的复垦材料，具有复垦后种树的真实可能性。1988 年，在英格兰有近 4 700hm^2 的煤矿区废弃地荒芜，其中 4 400 hm^2（约占 93%）需进行合理的复垦（环境司，1991）。虽然没有获得确切的最新消息，在威尔士、苏格兰同样也有这么大面积的煤矿废弃地需要复垦。

煤矿废弃物主要含有黑色页岩、泥石岩、粉砂岩、耐火土和砂岩（很少石灰岩），以及各种煤（Bridges，1987）。

处理煤矿废弃物所形成的有特征的堆放物，大部分呈圆锥体，而在威尔士地区沿河谷两岸，废弃物的堆放形式是大的土堤。特别是在苏格兰，大部分材料燃烧后产生更稳定的物质，形成典型的红褐色“废料堆”。

（一）煤矿废弃物存在的特殊问题

(1)酸度。在英国的一些地方，普遍存在偏酸的问题，这与黄铁

矿氧化有关，或与硫酸铁有关。硫酸铁是煤矿废弃物最常有的组成成分。当这种矿物暴露后，与空气和水接触，就会被氧化，废弃物的pH值可能会下降到2以下，这会对废弃堆上种植的树木的生长造成灾难性的影响。乔布林(Jobling)及史蒂文斯(Stevens)(1980)对整个过程进行全面考虑。后面对该问题将进一步详细阐述。

(2)盐度。一些废弃堆，特别是在英格兰东北部，可溶盐的含量较大。这些地方蒸发量大于降雨量，这些盐被带到地面表层，积累下来。严重的盐化会对新种植树木的成活以及生长产生影响(Jobling & Stevens, 1980)。

(3)肥力贫瘠。煤矿废弃堆通常缺乏表层土，缺乏宏观营养是很普遍的现象。尽管在煤矿废弃堆中有适中的氮含量，但很少能被植物有效吸收(Palmer *et al*.,1985)。

(4)坡度。在重整坡度之前，煤矿废弃堆的坡度可能会大于35°。这一坡度通常是不稳定的、易侵蚀的、难于耕作的。

(5)压实。重整废弃堆的过程就是压实的过程，排出其中的空气，减少自燃的危险。这种压实活动与造林及树木的生长是不相容的。

(6)极端温度。许多黑色的煤矿废弃堆在阳光照射下会产生高温。

(7)破坏行为。大多数煤矿废弃堆所在位置往往被归入城镇(环境司,1991a)。在其中的许多地方，破坏犹如以前在煤矿废弃堆上造林一样，是一个不可避免的问题(Jobling & Stevens,1980)。

(二)关于酸性问题

不管是在废弃物上种植植被，还是要从场地排水，酸度都是一些煤矿废弃堆的主要附加问题。而排水可能会威胁到饮用水的供给。如果用黄铁矿作为最后一层覆盖，假如场地种植了植被，那么它通常表现为废弃堆上裸露的小块地。如果从场地排水系统或渠道的边缘排出的是赭石色雨水，就是另一种黄铁矿存在的明显迹

象。可是，即使这些现象没有，它也会存在，即处在非氧化状态。

处理黄铁矿氧化造成酸性的最好方法，是避免用黄铁矿废弃料作为最后覆盖的填筑材料。黄铁矿废弃物应通过有规划的取样，随即在试验室确定其潜在酸度，也就是黄铁矿废弃物产生酸的能力的测定。有许多方法可以确定废弃物中黄铁矿的含量（Dacey & Colbourn，1979），其中一种可用的方法是，依据与硝酸部分氧化来断定。甚至少量的黄铁矿（0.5%）也会造成酸化问题，废弃物中黄铁矿的含量超过0.5%，无论在哪里都应拒绝使用。

有许多方法可以用来处理黄铁矿氧化造成的酸化效应（Pulford，1991），包括设置障碍物将黄铁矿与氧和水隔绝，或使用本身需氧的材料，如污水中的淤泥。但这些方法不是费用昂贵就是不适宜树木生长，最普通也是最适用的方法是使用石灰与酸进行中和，这种方法的关键在于确定所需要石灰的数量，要全面考虑进行中和时树木根部区域预期深度内所需要的石灰量。例如，对于一堆黄铁矿含量为1%、厚度为15cm的废弃物，每公顷需要40t的石灰来中和黄铁矿的潜在酸度（Costigan *et al.*, 1981]。如果指望树木扎根到100cm的深度，黄铁矿的含量仍为1%，这意味着每公顷需石灰250t以上，仅仅计算中和表面酸性的石灰的数量是不够的。另外，每公顷施石灰超过100t将会导致废弃堆中钙、镁比例不平衡，会限制磷的吸收（Costigan *et al.*，1982）。

三、露天煤矿废弃堆的复垦

露天开采煤矿开始于1942年，作为战争时期的应急手段；战后，稳步增长成为一种重要的采煤手段。1987年，在英国近1 600万t煤（占英国煤总量的16%）是通过露天开采获得的（英国地质调查局，1989）。1988年，在英格兰有8 500hm^{2}的场地允许用于露天开采（环境司，1991b）。一个典型露天煤矿占地面积约为200hm^2。平均的覆盖层和煤的比率是18:1，甚至在有些地方移动

40t 的覆盖层才能获得 1t 的煤。英国露天煤矿场地的平均寿命是 5 年(《英国煤的露天开采》,1991)。

(一)露天煤矿场地在复垦或养护时期面临的问题

(1)不适宜的土壤。露天开采矿区,过去曾是农业区或林地,在采煤停止后土壤可以存储以便复位。可是,在进行露天开采的许多地区的土壤(特别是在威尔士、苏格兰)主要是石炭纪的页岩、泥石岩、黏土或是从这些岩性衍生出的第四纪沉积物。大部分是黏土,有些是泥炭土。因此土壤往往是慢慢渗透,并且会发生季节性渍水,所以很难进行剥离、存储和复位,而保持土壤结构不损坏。

(2)缺乏土壤。许多露天开采场包括以前从事工业的地区(包括深的煤矿),其土壤已被弃置或污染。在过去 20 年里,大约 6 600hm^2 的土地用于露天开采(《英国煤的露天开采》,1991)。其他地方也在采用露天开采方法重复操作,在技术和经济条件能达到的情况下,还进行更深层的开采。所有这些地方都可能缺乏土壤资源。

(3)不利的气候。一些露天开采煤矿场地,特别是在南威尔士和苏格兰,纬度相对较高。这些场地长年暴露而且年降水量很多,在艾尔郡的场地,年降水量通常都超过 1 600mm,在西格拉摩根(Glamorgan)郡的部分地方年降水量超过 2 000mm。在南威尔士,许多场地被列为暴露地(Bendelow & Hartnup,1980);在苏格兰,许多土地被认为不利于树木的生长(马考莱土地利用研究所,1988),主要是因为恶劣的气候和不良的土壤条件。

(4)不利的覆盖层特性。石炭纪页岩是最普遍的覆盖岩层,可以用于树木的生长,但他们本身很贫瘠,缺乏几乎所有植物均需要的氮,只是在一些地区有少量的有效磷。在南威尔士,页岩常有碱性反应,pH 值为 8.6;含镁量很高,缺乏一些微营养如铁、锌和硼(Bending *et al*.,1991)。页岩废弃堆的特点是多石、有效持水能力低、易于压实。

(二)复垦策略

因为露天煤矿区在林业建设和树木生长方面存在这样和那样繁杂的问题，这就对场地的恢复和养护提出了更高的标准。成土材料的选择、适当的土壤迁移、翻耕、树种的选择和造林的养护都是特别重要的。

1. 成土材料的选择

露天开采的场地，因为要从平均 80m 的深度挖煤，所以要分为几层进行覆盖，因此有机会选择合适的成土材料作为覆盖材料。第三章已给出如何检查和试验覆盖材料的方法。

2. 土壤迁移

任何场地在开采前均有土壤覆盖，在采煤开始之前，最重要的是对土壤资源进行调查，确定现有土壤的数量和形式。在黏土和泥炭土迁移时，需要特别的小心。在回填时使用松散堆放技术是最适宜的(见第五章)，特别是在降雨量大的地方，干土条件很难保证(Duncan & Bransden, 1986)。在苏格兰，艾尔郡本贝恩露天矿区的恢复场地，在深 1m、宽 30～40m 的等高矿物料堤上，松散堆放泥炭土，效果很好。

3. 翻耕

如果土壤或成土材料必须使用厢式挖掘机迁移，或者被车辆和误操作造成了破坏，那么，必须经过翻耕来缓解压实并为在场地种树做准备。露天煤矿的覆盖层是以多石而知名，常规的翻耕设备不太适合，必须开发特殊的机械来应付这种严酷的场地条件(Wright, 1989)。在含石量较少的地层，可以使用重型负载齿和带翼齿，对缓解压实是很有效的。

4. 选择树种

树种的选择很大程度上取决于场地上是否有适宜的土壤；树木也可以种在已有的成土材料上，但需在其适宜的范围内选择树种(见表 6-2)。

5. 造林

在露天场地，种植小树苗是比较理想的；大树苗可能要“插窝”，而低的树干将会在粗糙废弃堆上擦伤。可以种一些桤木苗用来固氮，以确保固氮能力。近期对复垦露天煤矿场地的研究证明，在有固氮根瘤菌存在的地方，树木生长就高(McNeill *et al*., 1989)。

在露天煤矿废弃堆上施污水淤泥后，针叶林反应良好(Bayes & Taylor, 1988; Moffat *et al*., 1991)。污水淤泥含一定数量有用的氮磷肥，从各个方面而言都是一种理想的肥料。污泥能提供煤矿区废弃堆最短缺的营养；同时还可促进地面植被的生长，有助于防止侵蚀，促进土壤形成，改善废弃堆的面貌，一直等到林冠郁闭。图 9-1 显示了在特里迪格复垦的露天煤矿场地上施污水泥浆肥对日本落叶松的影响，该处是用页岩和砂岩作成土材料的。

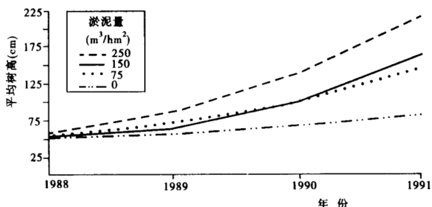


图 9-1 在南威尔士露天煤矿废弃堆上施污水泥浆对日本落叶松的影响

四、砂砾料场的复垦

在英国，砂砾(不包括特殊砂，如硅砂)是最普遍开采的矿物。1988 年，经允许开采砂砾的场地在 29 000hm^2 以上(环境司，1991b)，1987 年共开采了 8 200 万 t 的砂砾。相反在苏格兰，只开

采了 300 万 t 以上的砂砾，在威尔士，砂砾的开采量不到 300 万 t（《英国地质调查》，1989）。砂砾开采绝大多数是在第四纪沉积地层或接近地表进行的。大多数位于河谷或在古老的高原阶地上。重点砂砾开采区在泰晤士、塞弗恩及特伦特河谷。

1982～1988 年间，在南英格兰，几乎有 60% 的矿区土地恢复成了林地，而这些矿区主要是在布拉姆舍尔林地上开采高原砂砾留下的。自 70 年代以来，在此地作了大量的研究，以改善造林地的条件，促进树木的生长。

(一)主要问题

(1)水平的或很缓的斜坡地形。没有修浅导水设施的复垦会造成排水问题。

(2)地下水位高。这可能会发生在所开采的砾石矿区紧靠河流洪泛平原的河阶地。要使土地尽可能不受渍水影响，修建沟垄地形最为有利。

(3)覆盖材料的含石量大。现有许多覆盖材料的持水能力低，普遍干旱。

(4)易于压实。土壤和覆盖材料是十分容易压实的。在布拉姆舍尔林地，土壤回填后的容积密度高达 2.0g/cm^3（Moffat Roberts，1989c）。

(5)酸度和贫瘠。用于高原砂砾石场复垦的矿物材料，通常是酸性的——pH 值为 4。磷素的缺乏也是普遍存在的（Fourt Best，1983）。

(二)复垦策略

上述概括的这些问题曾对以前砂砾开采场的复垦政策产生了积极的影响。沟垄地形已广泛使用，整个剥离的厚度为 0.5～0.75m，大大缓解了压实。松树，主要是选择了科西嘉松，因为它最适宜在砂砾矿复垦地上种植。在布拉姆舍尔林地的复垦矿区，科西嘉松的收成可达 12～14 产量等级。道格拉斯冷杉也适合中

度肥力的场地，只要对鹿严加防范即可。在复垦砂砾料场时，使用松散堆放法能增加效益，初步研究结果认为，这种松散填筑方法可以减少压实，免去翻耕问题。

五、高岭土废弃物堆的复垦

在英格兰西南，开采高岭土是一项很重要的工业；继油料之后，高岭土是英国最有价值的出口原材料。1987年，共出售了300多万t的高岭土（《英国地质调查》，1989）。可是，每开采1t的高岭土，要产生7t的废弃物（Anon，1987）。大部分的废弃物堆放成一大堆，特别是在圣·奥斯特尔周围，这些废弃物所形成的景观给人留下了非常深刻而又不调和的印象。废弃物处理也有一些是在博德穆尔（Bodminmoor）及达特穆尔（Dartmoor）。1988年，有4 000多 hm^2 的土地同意被用于废弃物处理（环境司，1991b）。废弃物堆的大小不一，最高超过100m。而绝大多数高岭土的废弃物组成是砂砾质的粗沙、30%～50%是小于2mm的石子，5%以下是沙和黏土。沙石的主要成分是石英石，还包括其他少量的矿物成分，有长石、云母。其他废弃物中也含有云母，通常是在污泥贮存池、覆盖层及积土（废弃石料）中予以处理。

（一）高岭土废弃堆对造林和树木生长带来的特殊问题

（1）坡度。沙堆的坡度常常很陡，大于35°，这是废弃物堆的自然休止角。有些坡面不稳定，在重力、风和雨的影响下，沙不断移动、下滑（Sheldon & Bradshaw，1977）。陡坡不适宜种植，不稳定的沙堆会把树木埋起来，或者使树根裸露出来。因此，高岭土废弃物堆上的植被建设是从根本上把这些问题减到最小。收获时会发现，树的花费很高，或许是一种不经济的办法；在这种废弃物堆上造林的目的不应包括木材生产。

（2）高度和暴露。在圣·奥斯特尔地区的大多数废弃物堆的高度超过160m。许多丘岗的高度超过200m。废弃物堆通常是当地

较高的土地，而且是裸露的。高度会对气温和有效降雨产生较大影响。

(3)贫瘠。废弃物中矿物含量最多的是石英石，它只能提供很少的植物营养，还缺乏氮、磷和基本营养，也没有很重要的有机质含量。通过施肥很难改善土壤贫瘠的状况，因为所有营养物质的淋洗损失很高(Marrs & Bradshaw，1980)。

(4)酸度。高岭土废弃物天然特性是酸性的；在处理前 pH 值一般为 3.9～4.8(Bradshaw *et al.*，1975)。对多数高岭土废弃物堆，通常的做法是加石灰，pH 值可提高到 6.5 左右，从而达到促进草类生长的目的(Anon，1987)。因为需要反复施加石灰，这在已种树木的地区就难以实施。

(5)土壤水供应。由于高岭土废弃物材料颗粒比较粗，故而限制了对天然降水的保水能力，可用的含水量很少，在小约翰斯废弃物堆上，1m 深的废弃物材料中仅含水 70mm(Moffat & Roberts，1986b)。在降雨量大的地区，土壤水分缺乏不是严重的问题，而水压力可能是一个偶尔发生的问题。因此，杂草控制在造林期间是个非常重要的问题。

(二)复垦策略

尽管有上述的问题存在，最近树木种植的试验已表明，树木可以建在高岭土废弃物堆上(Moffat & Roberts，1989b)。那些耐裸露、耐酸度及耐相对土壤贫瘠的树种——北美云杉、科西嘉松以及桤木，特别是绿桤木和意大利桤木就是在高岭土废弃物堆上种植最成功的树种。松树和绿桤木在高岭土裸露场地混交种植，间距为 1.4m，已获得成功。在更阴凉地区，松树与意大利桤木或绿桤木混交，要比单纯种植松树的区域长得高（见表 9-1)。从高度上能反映以下两个方面：一是桤木有遮阳效果，二是桤木有固氮作用。其他树种在不太裸露的坡度上与桤木混交效果也不错，这些树木有落叶松、苏格兰松和大果松。

表 9-1　　　　桤木对科西嘉松生长的影响

处　理	6 个生长季节以后的高度(cm)	比对照树种增高的百分数(%)
1.松树之间间距为 2m,松树和桤木的间距为 1.4m:		
(纯松树)对照树种	92	
松树与意大利桤木混交	136	48
松树与绿桤木混交	124	35
2.所有树木之间的间距为 2m:		
(纯松树)对照树种	92	
松树与意大利桤木混交	125	37
松树与绿桤木混交	127	40

在造林的早期,有固氮作用的灌木也会起到这种作用。羽扇豆(Lupinus arboreus)在高岭土废弃物堆上的种植也非常成功(Palaniappan *et al*., 1979),每年每公顷以 180kg 的固氮量增加。长生豌豆(Lathyrus syluestris)是另一种成功的先锋树种。这两种豆科灌木能促进那些种植在它们之间的树木的生长。正如桤木,这些豆科灌木都能为树木提供足量的氮肥,同时还为树木提供阴凉保护。帕兰尼尔番(Palaniappan)等认为,种树最好的时间是在豆科植物生长的第三年,那时的固氮量达到最高值。其他一些保护植物可用来改善高岭土废弃物堆的氮含量,它们是荆豆、金雀花和沙棘。关于在高岭土废弃物堆上的再种植,沃德尔·阿姆斯特朗(Wardell Armstrong)做过详细的研究(1993)。

六、金属矿山废弃物的复垦

有色金属采矿常产生矿物废弃堆,它含有的金属浓度对某些

植物会产生植物毒性。在开采和处置如萤石、重晶石材料时，也会产生类似的废弃物(环境司，1989)。1988 年，英格兰考虑放弃 4 700多公顷的含金属废弃堆(环境司，1991a)，但是，据估计在英格兰和威尔士，自青铜器时代(Thornton，1980)开始到现在，受冶金开采活动影响的土地面积超过 4 000 km^2。英国的冶金开采活动比较集中，特别是集中在康沃尔郡、德比郡、湖区和威尔北部及中部。

(一)金属矿废弃物分类

不同金属矿的废弃物，它们的物理和化学特性是显著地不同的。约翰逊(Johnson)等(1978)在对威尔士金属矿废弃物的调查中，把它们分为以下五类：

(1)尾矿，填在沉积坝中，其主要成分是细颗粒材料(沙或黏土)，含有一定金属的高残留浓缩物。

(2)中等级废弃物，成圆锥形、堤岸形以及不定形的废弃堆。材料的主要成分是砂和砂砾大小的颗粒(0.02～5mm)。

(3)粗颗粒废弃物(5～150mm)，包括岩石和低级矿物碎片。这类废弃物是场地的主要材料，分布在整个矿区，大小、形状不一，废弃物堆相对稳定。

(4)粗颗粒废弃物(20～300mm)，包括小丘及常围绕矿区周围堤岸的非矿化岩石。

(5)含金属的燃烧灰和熔渣，从简易的平炉和当地的反射炉中进行第二次提炼所得。

(二)与金属矿废弃物有关的主要问题

(1)植物毒性。通常有色金属的毒性含量高，特别是尾矿，其中等级废弃物和一些粗颗粒废弃物的含量很高。

(2)物理特性。某些尾矿的细颗粒废弃物，在遇干燥时易被风吹掉，遭受水蚀时，易被水淋掉。

(3)pH 值。依据岩石类型的不同，pH 值在 2～8 之间。

(4)土壤贫瘠。在这些废弃物堆中,通常缺乏氮。

(5)动物齿食破坏。在一些冶金矿区,很难控制兔子和羊只的破坏。

在某些废弃物中,有色金属的含量很可能取决于废弃物自身的特性。在威尔士的尾矿中,金属含量高达2%是普遍的,并且在未经扰动的废弃物堆和选矿区周围金属含量也非常高(Palmer,1991)。金属含量常超过植物能忍受的毒性水平。金属矿的废矿渣中含的主要元素是铜、锌、铅、镉、砷。

树木究竟可容忍哪些重金属在其体内存在,至今还没有结论性的证明(Bradshaw,1981),虽然确有一些树种因承受某些金属的高浓度含量而呈现出若干清晰的生态迹象(Eltrop *et al*.,1991),但是从苗圃中出的苗木,能耐高浓度重金属的是不存在的,故如果废弃物堆的金属含量超过植物的毒性水平,就必须对其进行复垦。复垦的主要方法包括用未污染材料覆盖废弃物,改良废弃物,将废弃物迁移到处理场地或现场除污。

(三)复垦策略

到目前为止,对含金属废弃物堆,最常用的复垦方法是把它们掩埋在特殊的覆盖层下面,以把植物根部与毒性土壤分离开。通常使用粗颗粒材料进行覆盖,以便把毛细管隔断,防止金属向上移动。近期,建议使用不透水薄膜覆盖废弃物,以减少从废弃物中排出污水的数量。通常使用聚乙烯薄膜或用膨润土混合材料做成盖帽(Palmer,1991)。在薄膜上填筑的土壤应有足够的厚度,以维持树木的生长,最后形成的坡度必须比较平缓,以防止滑动。虽然在英国对大多数含金属的废弃物堆复垦时,50cm的土壤厚度或许已能满足树木生长所需,但建议在不透水层盖帽上的合适土壤厚度至少不低于1 m。

在英国,目前很少将树木种植在含金属的废弃物堆上。可是,在60年代,在天鹅海河谷下游,很多树木种在受铜、锌矿污染的土

壤上(Hilton,1967;Lavender,1981)。最近,在康沃尔郡老铜矿区都已种上了树木,苏格兰松、桤木、北美云杉、花楸和橡树长势极令人满意(Walker,1981)。看来没有理由说,不能在某些类型的含金属废弃物堆上广泛造林,特别是在康沃尔郡的铜/砷废弃物堆上或在德比郡的萤石废弃物堆上造林。

七、硬石料场的复垦

(一)硬石料场的状况

硬石料场是采矿的一种特殊形式,通常很少有覆盖层或废弃物。这种料场主要是提供火成岩、石灰岩、白云岩、砂岩和一些岩脉矿。在英格兰,到1988年,有22 000多公顷的土地受这些采矿的影响(环境司,1991b)。1987年,英国这些矿产的产量(除岩脉矿外)近1.9亿t(英国地质调查局,1989)。

料场开采通常是用爆破作业,常炸得很深。它们可能有深切的后壁,但更多的是一连串卷扬机在15~20m高、10~15m宽的台阶上进行操作。这些台阶立面的坡度是70°~90°,而整个坡度为45°~60°(土地利用咨询,1992)。

(二)复垦策略

由于受地形和缺乏土壤材料的限制,把硬石料场复垦成林地的可能性很小。单为达到复垦的目的,从外面运进材料是不切实际的,虽然有些料场也用于各种各样的废物处理(见第八章),可能种植树木的地区包括一些石阶、岩屑堆和碎石坡,以及料场后壁上层层的岩石台阶。但必须保证这些场地要有满足根部生产发育的足够厚度的土壤材料。

在硬石料场,复垦时可以有效地使用爆破技术(见第五章),以增加岩屑量,爆破产生的足够的岩屑材料可以为以后树木的成活提供所需要的水分。另外,粉碎的岩屑材料可以与较粗颗粒的材料调配,为植被生长提供良好的立地条件(Bailey & Gunn,1991)。

如果有足够的投资，以运进土壤和覆盖层材料，那么就可以把这些材料覆盖在料石层上，在采石台阶上或在料石基础上形成一个岩屑坡，从而获得树木生长所需要的地层。依据岩石料场的岩性和地下水位状况，也可以剥离岩石料场层，为树木生长提供良好的土壤层。

在选择种植的树种时，要考虑土壤或废弃物材料的化学特性。然而，如果在原始的岩石废弃物堆上种树，那么，树种的选择就会有很大的局限性，而在石灰岩和白垩岩废弃物堆上，由于土壤 pH 值很高，还要选择耐碱树种。表 6-2 给出树种选择的参考方法。对于硬岩石料场上植被的种植，《土地利用咨询》中有详细叙述(1992)。

八、粉化燃料废灰的复垦

在英国，绝大多数热电厂均燃烧已粉化的煤，粉化煤颗粒的80%可以通过 200 号网眼的筛子(孔径 0.07mm)。然后让粉化煤在热气流中悬浮，进入燃烧炉中烧尽。在这个过程中，粉化煤中97%的碳被氧化，燃烧后的粉尘可以由机械和静电过滤器分离，进行干燥处理，或转换成含水的泥浆通过管道输送到污水池。然后灰尘沉淀被分离出来，进入大的滨湖处理场(Townsend & Hodgson，1973)。

在英国，每年会产生近 900 万 t 的粉化燃料废灰(简称 Pfa)(Arup Economic，1991)，其中，400 万 t 可用在建筑工业上，而大部分粉灰需在生产这些材料的电厂附近的污水池里和土丘上进行处理。

(一)粉化燃料废灰的特性

粉化燃料废灰主要是指砂或细砂颗粒，由离散的白色或无色透明球体颗粒组成。它所表现的一些不寻常的特性会影响林地建设和树木生长。

(1)pH 值。在新鲜的粉化燃料废灰中，pH 值通常为 11 或 12，呈强碱性，但在污水池中粉化燃料废灰的 pH 值常为 8 和 9 (Townsend & Hodgson, 1973)。超过一定的时间，污水池上层有时会形成一层比较薄的有机质层，这层有机质层的 pH 值近似于 7。

(2)贫瘠的土壤。表 9-2 是在大范围内所取的粉化燃料废灰样中植物所需营养含量的平均值(或范围)。虽然粉化燃料废灰中的其他营养水平足以维持树木的生长，但几乎全部缺氮。

表 9-2　粉化燃料废灰的平均营养含量(Cope,1961)

营养	总量	有效含量
氮	0.04%	Na
磷	0.05%	0.01%
钾	2.23%	0.04%
钙	4.69%	0.99%
锰	0.71%	0.15%
铁	0.09%	0.06%
硫	0.48%	0.39%
镁	848×10^{-6}	99×10^{-6}
硼	236×10^{-6}	43×10^{-6}
锌	283×10^{-6}	2.1×10^{-6}
铜	248×10^{-6}	25×10^{-6}
钼	42×10^{-6}	5.4×10^{-6}

(3)毒性。粉化燃料废灰以硼的浓度高而著称。水溶性硼的浓度范围在 3～250mg/kg 之间，平均浓度为 60mg/kg(Cope, 1961)。土壤的风化会逐步减少硼的浓度，但在许多年内依然保持在毒性水平线以上。一些可溶性盐会导致高导电性，对新鲜的粉化燃料废灰，其测量值为 0.8～1.3S/m，植物生长会受到限制。但是，与硼的高浓度不同，可溶性盐在污水池内停留 2～3 年后，其

导电性能够相对快速地下降到安全水平。

(4)物理特性。沉淀在污水池的粉化燃料废灰能形成独特的层面,这个层面是1mm到几厘米厚的坚硬的压实层,随机地发生在整个沉积序列中(Townsend & Hodgson,1973)。这种结构会严重阻碍植物根部的垂直贯穿。树根就会向水平方向发展,在松散表面向四周扩展。根据霍奇森(Hodgson)及巴克利(Buckley)(1975)的调查测定,白杨树的根被限制在地表层7～8cm的范围内,最可能是在地表层3～5cm的范围内。若树木有了这样的树根,当树木长得比较高大时,会因干旱而变得不稳定。

粉化燃料废灰沉积的另一个自然问题是地表侵蚀(Townsend & Hodgson,1973)。风蚀危害也是特别严重,从污水池出来的灰尘不加控制会造成公害。因此,若在粉化燃料废灰材料上种树,必须先在上面种草或将草和豆科植物混交。

(二)复垦策略

由于粉化燃料废灰的这些特性,所以当种树时要特别小心选择树种。表9-3列举了树种对粉化燃料废灰化学特性的耐受性。固氮树种和灌木如桤木、假刺槐、胡颓子是较适宜的树种,其他一些树种也长势良好,特别是杨树和柳树。具有耐受性的树木可以直接种在粉化燃料废灰上,但还要覆一层土壤或成土材料,以促进树木快速生长。例如,霍奇森及汤森(1973)证明,用15cm厚的煤层油页成土材料或土壤与污水池上层30cm厚的粉化燃料废灰混合而构成的土壤材料,就可以适应很多树种的生长。同样,莫法特(1991)发现用20cm厚的沙层覆盖在粉化燃料废灰上,可以改善桤木和杨树的生长。

在整个粉化燃料废灰种植区进行深耕有助于根部深扎,以及硼和水溶盐的沥滤。可是,犁耕线间距必须很小(不能大于1m),以确保压实的灰尘完全疏松。犁耕的结果会延续几年,但种植活动应在犁耕后立刻进行,以免灰尘再被压实。

表 9-3 树种对粉化燃料废灰的耐受性(选择的树种是经过测试的)
(Townsen & Hodgson,1973;Hodgson & Buckley,1975;Moffat,1991)

树木耐受性	树种
较高耐性	箭杆杨 北美云杉 杨桉 银白杨 法国柽柳 欧洲桤木 柳属
中等耐性	意大利桤木 欧洲白桦树 南欧黑松 塞尔维亚云杉 臭椿属 刺槐
敏感性	欧洲山毛榉 美洲花柏 欧洲白蜡树 假挪威槭

豆科植物也有助于改善粉化燃料废灰土壤材料的肥力,但按照现行要求,重要的是必须严格控制树木周围的杂草(见第六章)。

九、烟囱气体脱硫物(简称 FGD)及石膏废弃物的复垦

减少大气污染是英国政府承诺的一部分,多数热电站已装有烟囱气体脱硫装置,以减少 SO_2 的释放量。有一些电站选择石灰石/石膏法,即输入粉碎了的石灰石,生成石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$),石膏则成为主要的固体副产品,这就牵涉到需要处理大量的石灰石

和石膏。如在约克郡西部有4 000MW的德拉克斯热电站,估计每天会产生2 000t高质量的石膏。其中一部分材料可作为灰泥板卖掉,但其中相当一部分需要就地处理。在污泥贮留池中石膏材料最易溶解,显然与粉化燃料废灰一起处理是可行的。

近期的研究对在石膏材料上种树的潜力进行了评估(Moffat,1991)。从营养物角度考虑,烟囱气体脱硫物、石膏废弃物几乎无活力,不含氮或可提取的磷,植物可利用的钾很少,但有足够的可利用的镁。pH值高于6,具有很高的导电性,含可溶盐和硫(Moffat,1989)。这些特性对于许多植物品种有潜在的毒性,但树木品种试验表明,一旦在烟囱气体脱硫物、石膏废弃物中施加植物所需的基本营养,白杨、桤木和假刺槐会生长得非常好(Moffat,1991)。因为石膏废弃物非常贫瘠,意味着在造林后相当长时间内还要进行施肥,直到土壤内有机物水平增加到养分循环可有效进行的阶段。污水泥浆或许是氮和磷可选择的肥料来源,虽然还没有将泥浆用在烟囱气体脱硫物、石膏废弃物上的直接经验。

与粉化燃料废灰相似,烟囱气体脱硫物石膏极易于被盖顶和结成一层硬壳,并易受侵蚀。所以,这种废弃物场地,种树的密度不能太大,并需选择耐这类地表土壤的树种。种植树木的场地,也需对杂草进行良好的控制。

第四部分

附　　件

附件 1

林业局赠款

一、林地赠款援助计划

林地赠款援助计划(以下简称 WGS)于 1988 年 4 月设立,是为了鼓励不断地推广林业,在某种程度上它与环境需要保持合理的平衡(林业委员会,1991a)。该赠款是为建立新林地、管理已建林地;使已恢复的矿区和废弃地符合未扰动土地的条件,为复垦造林和维持树木生长创造足够的条件。

与该计划相应的主要目标是:

(1)鼓励创立新林业和林地,增加木材产量,美化景观,为野生动物提供新的栖息场地,为体育运动和休闲提供机遇。

(2)提供就业,增加农村的经济发展潜力以及为其他几乎没有经济活动的地区开辟新资源。

(3)为农业提供可利用土地。

该计划拟完成一系列管理目标,鼓励进行多目标的林地管理。如今木材生产已不再是惟一的目的(林业委员会,1991a)。在人造场地范围内,其场地条件不允许种植通常的森林树种。因此,大多数树种是赠款计划提供的,只要这些树种适合当地条件并合乎管理目标。

属于林地赠款援助计划的申请应向当地林业管理局保护办公室提出(见附件 4)。申请书通常是结合场地考察进行评价,这项工作是在矿区复垦恢复阶段后进行,因此,林业官员能够对已恢复

土地种植树木的场地的物理特性进行检查。林地赠款计划申请书应尽早提交，甚至在采矿前提交。其有利的方面在于：可以在复垦过程中针对各个方面尽早进行咨询，如选择土壤材料及它们的最终厚度，或土壤复位的方法。

申请得到批准后，就开始执行操作计划所确定的工作。种植进行后应支付赠款的70%，另20%分期支付，其后5年期间再支付剩余的10%，目的是保证建立满意的林地并对林地进行良好的维护。申请人允许林业局的官员在任何适当的时候，对已获得赠款的复垦地块进行检查。

林地赠款援助计划中的“管理赠款”是专门对林地管理运行活动的赞助，是维护和改善林地和森林所必需的净投入，是对在造林、环境以及社会方面产生效益的肯定。赠款的详细情况包括在申请人的林地赠款援助计划中。

二、社区林地补助

该赠款设立的目的是为了鼓励在城镇附近建设林地。这项赠款最初的主要目的是，对建设公共道路及为娱乐目的而建设林地的补助。在已恢复的矿区和废弃地种树是适宜的，只要为社区服务的目标能够达到，并充分考虑安全。该项赠款的详细内容可从林业管理局保护办公室得到(见附件4)。

附件 2

复垦案例研究

——格洛斯特郡迪恩林区沃尔格林已恢复的露天煤矿场地

在迪恩林区,长期从深矿井中挖煤。但在过去的十年中,沃尔格林露天采煤运作的压力增加了。进入 70 年代后期,位于辛德福德西南属于林业委员会管辖的针叶林地,沃尔格林被允许进行露天开采,林地占地面积约 $80hm^2$。

在批准开挖之前,依据对场地综合调查,拟定了复垦申请书。已有的地质和土壤调查信息可以通过钻探数据予以增补,至少需钻探 30 个坑,目的是为了探测成土材料的结构特点、含石量以及酸度。勘测数据可用来制图,以表明可剥离的表层土的厚度,以及壤土的数量或已经保留的较轻质地的亚层土的数量。如果有较轻质地的覆盖层,则杂灰色和赭石色的黏土以及软页岩都不可以作成土材料。

1978 年 8 月该项目开始运作。场地的操作按照采煤的顺序从西到东逐步进行,在每个阶段采煤之后立即进行复垦。尽管已确定选用中等渗透的成土材料,但绝大部分沃尔格林场地规划的复垦坡降小于 5°,在冬季会有渍水的潜在问题。为了解决这个问题,在大多数场地,修建了一系列宽为 30m、坡度为 5°的地垄。复垦计划包括在场地中心修建大面积的开阔水域,在这里不宜种树,因为这里很可能是霜冻区域,还因为在这种复垦场地,让湿地成为动物的栖息地是一个需要考虑的因素。

使用安装在卡得比勒(Caterpiller)D8 牵引车上的带翼犁,向

下耕翻到750mm可以缓解压实并增加透水性。要提高种植的位置，可用RCM圆盘耙，沿带翼犁耕作的方向耙平。废弃物堆和土壤在由草和豆科植物混播种植固定后，再种植欧洲杂交落叶松、科西嘉松和普通桤木。1980年7月完成复垦工作。

将复垦后的沃尔格林场地和其采矿前的状况相比较，可以看到，复垦后的场地令人赏心悦目(见插页图片⑦)。一个几乎全是连绵不断树木覆盖的地区、静止的水域和开阔的地面栖息地，对野生动物有特殊的价值。鸟类如野篆鸟及树云雀，借助于大量的金雀花，很快向开阔地移居。其他鸟类，如野鹟、牧场云雀、天鹨、杜鹃鸮、茶隼及隼也进入了开阔地。

潮湿的地方、泥泞的湖泊的边缘，对于旅途中的涉水鸟来说总是有价值的。这些涉水鸟如有斑点的赤足鹬、青足鹬、青色的矶鸽、麻鹬及田凫。湖泊狭窄的斜坡边缘，对于嬉水的动物是很理想的，雄野鸭、小凫、簇生鸭、灰足鹅、鸊鷉、母松鸡及白颊凫，全都关注这里。该湖泊现在是迪恩林区最好的蜻蜓栖息场地，据统计有17个品种，包括珍稀的蓝尾豆娘蜓，大红色及天蓝色豆娘蜓，以及蜻蜓的其他种。

在复垦场地，垄沟地形上的树木生长非常好。落叶松和科西嘉松产量级别在1991年达到10级，接近该地区未经干扰土地上树木生长的平均级别。

附件 3

恢复和养护的清单

一、恢复清单

清单上的信息包括,矿区操作人员要向采矿规划局提出支持规划申请书的内容,以及复垦成林地的保证措施。以下项目是环境司《矿产规划指南》注 7(1989)中规定的,具有一定的指导作用。特殊场地条件和复垦目的可以另作规定,还可以要求提供其他信息。

(1)有关规划申请书的复印件和第 27 章规定的证书复印件。

(2)该地区用 1:2 500 比例尺的陆军地形测量图,其中要有以下方面的内容:

a. 预计开采该地区的外部边界;

b. 整个场地的外部边界,存放表层土和亚层土的地区也标示;

c. 现有的任何可以用以恢复的表层土、亚层土或成土材料堆的详细材料,包括位置、类型以及现有数量。

(3)拟开采、矿产的类型和深度的详细信息,以及需运移材料的数量。地质或水文调查结果的详细信息,包括地下水的水位、成土材料特性和厚度,表层土、亚层土和覆盖层的深度和特性。

(4)建议复垦成林地的战略计划,包括:

a. 场地等高线和最终标高的工程计划,以及成土材料、亚层土和表层土深度的有关信息;

b. 采矿、恢复以及养护分阶段的时间进度;

c. 适合所在场所的填筑方法,建议填筑的类型和材料形式;

d. 剥离、运输以及土壤还原的方法,包括适宜所在地的土壤及

机械搬运的计划；

e. 建议已恢复土地的排水口，建议创建的任何永久性的水域；

f. 建议修建的通行道路。

二、养护清单

养护清单上应包括养护规划的内容(《矿产规划指南》注 7，1989 年提供)。

(1)一个成功的林业养护计划，在 5 年养护期内需要进行的各个步骤的全部详细材料，以及其他必要步骤的材料，如叶面分析。

(2)应着手准备最初的规划，包括从种树及树木收获所需要的一切操作，而且应在养护开始前三个月提交给矿产规划局。

(3)养护规划的详细材料，需要经过矿产管理局、林业局和负责执行养护计划人员的讨论和同意。此清单中第 6 条和第 13 条讨论养护所包括的内容，以及所需材料的详细程度。建议认真考虑当地情况，并且要符合建立好的林地的原则。

(4)养护规划应附带一张图，包括所有要进行养护管理的地区，按照建议管理的形式，清晰地在图上加以标明。

(5)若该项目持续几年，应向矿产规划局提交一个种植维护的年度计划，以便批复。该计划需在年度场地养护会议前一个月提交。在本清单第 11 条到 14 条中，对指南中的规定应作出承诺，除此之外，在养护阶段排水也是需要考虑的问题。

(6)耕作实践。包括要进行耕作的范围的略图，以及操作的深度和时间，建议使用的机械。

(7)辅助性处理。要承诺进行辅助处理，如通过定线用圆盘耙筑成低的种植垄。

(8)排水。排水是在恢复阶段规划和实施中需认真考虑的问题。可是，若在养护中发现需要排水，那么，需要画出排水设计草图，包括排水沟图，要显示其位置、深度、坡降以及出水口。

(9)地面植被。建议草本植物覆盖地面的地方，品种结构的详细情况、覆盖密度、计划建立的时间和方法。

(10)种树。有关树种、苗木的类型和大小，树木间距，种植的方法、时间和位置的详情。若建议不同品种混合种植，需要各单个品种的混合比率的详细信息，连同一张地面图，以显示怎样混合种植。若需要对个别树木保护，也应有详细的材料。

(11)施肥。应概述决定肥料需要的基础情况及施肥比率，包括解决的方法(如土壤和叶面分析)，进行调查和运作的时间。

(12)杂草控制。预计杂草控制的详细情况，包括方法、使用的化学药剂、使用时间。

(13)场地维护。承诺保证树苗达到一个协议的密度，并采取适合于所在场地树木保护的措施。同时还必须承诺对造成树木种植失败的原因进行调查，并对场地条件采取补救措施。

(14)围墙。养护条件并不包括修建围墙，而围墙的修建和持续维护作为一个单独的条件需要经规划批准。

附件 4

林业委员会的地址

一、苏格兰

(1)邓弗里斯郡和加洛韦管理局
134 街,洛克比,邓弗里斯郡
DG11 2BX
(2)格兰扁山管理局
奥地奎黑尔,波索伊路
亨特利,AB54 4SJ
(3)高地管理局
黑尔街,汀沃尔
罗斯郡,IV15 8EP
(4)洛锡安和边界管理局
北惠特特兰米尔
惠特兰路,加拉希尔斯,TD1 2HQ
(5)珀斯管理局
10 约克
珀斯,PH2 9JP
(6)斯特拉斯克莱德管理局
21 印度街,格拉斯哥,G2 4PL

二、英格兰

(1)坎布里亚郡和兰开夏郡管理局
佩尔维克

巴森斯韦特湖,科克茅斯
坎布里亚郡,CA14 9YG
(2)东英吉利亚管理局
桑顿道纳姆
布兰登,萨福克郡,IP27 0TJ
(3)东中部管理局
威灵厄姆路
马基特雷森,林肯郡,LN8 3RQ
(4)大约克郡管理局
惠兰·德雷克街
克罗坎希尔,约克,Y01 4SG
(5)汉普郡和西唐宁管理局
艾丽斯霍特
兰克雷萨姆,法纳姆
萨里郡,GU10 4LF
(6)肯特和东萨克斯管理局
弗尼斯街
兰伯赫斯特,坦布里奇韦尔斯
肯特郡,TN3 8LE
(7)诺森伯兰(群)及达勒姆管理局
雷德福特,哈姆斯特利
毕晓普奥克兰
达勒姆郡,DL13 3NL
(8)太晤士和奇尔特恩斯管理局
老巴恩,温柏瑞农场
温格里弗,艾尔斯伯里
白金汉郡,HP22 4RF
(9)乡村西部管理局

城堡,曼汉德
埃克塞特,德文郡,EX6 8HD
(10)中西部管理局
赖德尔,科尔顿路
鲁吉利,斯塔福德郡,WS15 3HF
(11)瓦伊和埃文管理局
金融大厦
金融街,科尔福德
格洛斯特郡,GL16 8BA

三、威尔士

(1)威尔士中部管理局
瓜利亚,兰德林多德韦尔斯
波依斯郡,LD1 6AA
(2)威尔士北部管理局
克卢伊德 纽伊德
里辛,克卢伊德郡,LL15 2NL
(3)威尔士南部管理局
坎特福法院
布雷肯,阿伯加文尼
格温特郡 NP7 7AX
(4)莫甘林业区
雷索文
尼思,西格拉摩根郡,SA11 4DR

附件 5

在规划许可造林作为后续土地利用的地方进行抽样的条件

一、土壤剥离

(1)除树木砍伐、围绕场地的工程以及主要的排水工程外,其他工作必须在表层土、亚层土以及薄层成土材料全部剥离完后,或者在场地整个地区第一阶段的土壤剥离计划完成后才能进行。

(2)场地的任一部分在开挖前,或者重型车辆或机械通过之前,或者在建房屋前,或堆放亚层土或其他覆盖层土前,或作为机械停放处前,或用于树木堆置场前,或修建道路前,所有的地表土应剥离到足够的深度(除非剥离那部分的目的是为了在该处堆积表层土)。

(3)在场地开挖之前,或者用于条件(2)所描述的目的之前(亚层土的堆放除外),所有的亚层土应剥离到足够有效的深度,而且要分别操作。

(4)表层土、亚层土及成土材料,只能在 5~9 月间进行剥离,这时土壤比较干燥而且疏松,天气也干燥。如放在其他时间进行剥离,需得到矿产规划局的书面同意。另外,除非矿产规划管理局同意,否则,在对场地的任一部分进行剥离的前三天,天气应是晴朗干燥的。

(5)使用自卸卡车和反铲挖掘机进行土壤和成土材料剥离,可控制土壤压实,让土壤压实达到矿产规划局所同意的最低程度。

(6)在开挖以前有树、树桩以及树根覆盖的场地,要把树根拔

出来，并抖动树根，使土壤分离。树桩、树根和树枝要么燃烧，要么掩埋，这两种做法都要依照矿产规划局批准的计划实施。

(7)在开始剥离土壤之前，申请人将至少提前7天通知矿产规划管理局。

(8)要有充足的地表土、亚层土，确保剥离和存储的土壤最少有1 000mm的掺混厚度，在土壤连续复位时，能均匀地覆盖在即将恢复成林地的所有地区。若没有足够的表层土，达不到要求的这个厚度，那么，就要找适合的成土材料，在剥离和开挖期间，把这些材料存储起来，用于场地的连续恢复。

(9)由于表层土的质量不同，需要依据其特性分别进行剥离和存储。

二、土壤存储

(1)表层土、亚层土、成土材料将分别存放在分隔开的存储位置，不能堆放在一起。这些材料都不要从场地转移。

(2)堆表层土存储土堆时，要注意将压实降到最低限度，惟一的要求是确保其稳定，此外土堆高度不能超过5m，除非经矿产规划管理局同意。

(3)亚层土及成土材料存储土堆时，也要注意将压实降到最低限度并确保其稳定性，堆放高度不得超过6m，否则要经矿产规划管理局同意。

(4)表层土、亚层土以及成土材料的存储土堆，除在建设期或这些土堆移走后，将不允许车辆或机械从上通过。

(5)任何一个土堆堆放好后，土堆四周的土壤表面要有较缓的台阶，以限制地表水的浸入或地下水进入存储土堆。在土堆的上坡处开挖截流排水沟，限制地表水或地下水浸入到土堆中。

(6)所有土堆在建成3个月内，要在其上种草，而且还要进行维护，直到恢复场地需要用这些土壤时为止，否则，要经过矿产规

划管理局的同意。杂草控制可以刈割或用除草剂。

(7)在任何时候,都要防止土壤遭受润滑油、燃油或覆盖层的污染。

(8)任何土壤存储堆在建成的3个月内,需向矿产规划管理局提供一张图,显示每个土堆的位置、土堆上可能发生土壤剥离的土地面积,还要有一个说明,如每个土堆所容纳的材料数量。

三、恢复计划

(1)自恢复计划批准之日起6个月内,或经矿产规划管理局书面同意的其他期限内,将适合造林的场地的最终地形和场地恢复的详细计划提交给矿产规划管理局。恢复计划必须包括以下信息:

a.场地的最终等高线;

b.所有道路的位置、大小、路线或通行权,这些路包括将要恢复和新建的;

c.拟建或保留的任何排水沟或水路的位置和大小以及护面板的详细材料。若等高线信息不能清晰地表示坡降,那么,就要有坡降说明;

d.所有涵洞、溢洪道或其他永久排水建筑物的位置和详细情况;

e.保留或拟建的任何水域位置和详细情况;

f.任何排水戗台的位置和大小,以及这些戗台的纵向坡降的详细信息;

g.所有土壤存储堆的位置和数量;

h.所有建议复位土壤材料的分布;

i.保留或拟建的所有围墙、闸门、家畜护栏的位置和详细信息。

(2)上面条件(1)只是给出了一般性的要求,恢复要保证做到

下面条件(3)～(11)提出的详细要求。

(3)恢复完成时,所有工厂、机械、建筑物、固定设备、停机坪的地方包括场地综合体,通行及运输道路都要迁移,否则,要得到矿产规划管理局的同意。

(4)所有的沉砂池和污水池,除了依照批准的计划予以保留外,其他的都必须将水和污泥清理干净,将所有蓄水池扒开泄空,用于的中和性材料把废池填到规定的高度。

(5)按照批准的计划,在采矿期间逐步进行覆盖层的回填,否则,要得到矿产规划管理局的同意。

(6)按照批准的恢复等高线图,对已回填的覆盖层进行水准测量和土地平整,已恢复场地要与上述条件(1)同意的最终规划相一致,将会没有积水或侵蚀的危险,也没有洞穴、土堆或其他拔除树木的障碍。

(7)在覆盖层复位之后及表层土复位之前,覆盖层的上层将用重型带翼翻土机向下翻到最少600mm的深度,而翻土行与行的间隔不得大于1 200mm。

(8)所有的石头和其他障碍物的长、宽、高均不得超过300mm,以及其他有害的外来裸露物质包括电缆线和钢丝索,都要清除掉,要么用车运出场地,要么就地掩埋,但必须埋在恢复的覆盖层面1m以下。

(9)在任何土壤或成土材料还原之前,无论在何处,只要可行,都需要修建大路、小路和等高戗台;无论在何处,只要可能,应把这些道路安排在从存储土堆运送土壤到撒放场地的路线上。

(10)所有运作包括土壤复位,都应在全部土壤干湿条件适宜的情况下进行,或由矿产规划管理局另外决定适宜的条件。

(11)成土材料、亚层土、表层土将被撒放,使之分层按序抬升。单斗挖土机和自卸卡车可用于装运土壤材料。运输土壤的车辆只能沿着覆盖层表面指定的路线行驶。土壤撒放使用可旋转360°

的履带挖掘机进行，该机器不在已铺好的土壤上行驶。若无论什么原因造成了压实，那么，就要对该压实层进行翻耕以缓解压实，除对该层全部进行翻耕外，还用带翼犁的翻土机对下伏层再翻深150mm。在撒放土壤材料的前7天，必须通知矿产规划管理局来进行实地检查。

四、养护

(1)自恢复工作计划完成之日起，至少提前6个月向矿产规划管理局提交养护计划，等待批准；同时向林业委员会咨询。该计划包括将土地建成为林地所需要的步骤，并使其达到所要求的标准。

(2)提交的养护计划将明确所采取的步骤，以及进行各个步骤的时间。据此，已恢复地区的养护工作将按照批准的或修改的，或经矿产规划管理局同意的养护计划进行。

(3)上面的条件(2)只是给出了养护的一般性要求，养护工作还应包括以下的细节：

a.5年养护期的开始日期；

b.可能从事的耕作范围，包括耕作的深度和时间；

c.播种牧草，包括品种的组成，覆盖密度，建设的时间和方法；

d.树种、苗木的类型和大小，间距，种植的方法、时间和位置；

e.除草剂的使用或其他控制杂草的方法；

f.施肥，或确定肥料要求的方法；

g.林业管理，包括保证树苗约定的密度，当场地条件异常导致树木种植失败后，承诺进行调查并对场地条件采取的补救措施；

h.维护所有排水设施，提供湿地的建筑物；

i.检查时间和频率；

j.安排提交一份报告，详细叙述养护植物的各个步骤的年度计划；

k.安排与土地拥有者或使用人洽谈咨询。

附件 6

一些有用的地址

(1)农业基因有限公司

微生物处,教堂街,斯里波罗

罗伊斯顿,赫特福德郡,SG8 7RE

(2)专业林业工作者协会 7－9 西街,贝尔福德

诺森伯兰郡,NE70 7QA

(3)威尔士乡村委员会

普拉斯彭林,福德彭林

班戈,圭内斯郡,LL57 2LQ

(4)环境司

马萨姆二街

伦敦,SW1P 3EB

(5)英国自然保护

北部长办公室

彼得伯勒 PE1 1UA

(6)林业局

研究咨询部

艾丽·斯霍特·洛奇

兰克雷萨姆,法纳姆

萨里郡,GU10 4LH

(7)林业局

研究咨询部

北部研究站,罗斯林,中洛锡安,EH25 9SY

(8)园艺贸易协会

19 街，锡尔
雷丁，伯克郡，RG7 5AH
(9)注册林业员研究院
7a 圣科尔梅街
爱丁堡，EH3 6AA
(10)土木工程师研究院
1－7 乔治大街
伦敦，SW IP 3AA
(11)生态及环境管理研究院
36 金菲舍法院
汉布里奇路，纽伯里
伯克郡，RG14 5SJ
(12)专业土壤科学家研究院
马诺大厦 城堡街
斯波福斯，哈罗盖特，HG3 1AR
(13)英格兰、威尔士和北爱尔兰皇家林业协会
102 大街
特灵，赫特福德郡
HP23 4AN
(14)苏格兰皇家林业协会
62 皇后街，爱丁堡
EH2 4NA
(15)苏格兰自然遗产
12 霍普特拉斯
爱丁堡，EH9 2AS
(16)苏格兰办公室
圣安德鲁斯大厦
爱丁堡，EH1 3DG

(17)威尔士办公室

卡塞斯公园

加的夫,CF1 3NQ

附件 7

土壤复位厚度的计算

土壤厚度的计算要依据年均夏季降雨数据(仅适宜于英格兰和威尔士)(气象局 1989)。这一数据要在考虑成年树树冠一般所具有的降雨截留量后予以修改。可选取 25%的值,作为阔叶林和针叶林降雨截流量的平均值。考虑由于树叶截留的因素减少了年夏季降雨量,就要用有效降雨与树木蒸发量相比。350mm 降雨量可作为阔叶林(Hall & Roberts,1990)和针叶林(Roberts,1983)的典型降雨量。降雨输入和蒸发需求之间的差额可转换为土壤的厚度,霍奇森(Hodgson)(1976)据此给出了现有的土壤持水量。对于含石的土壤,要确定其最小厚度,可用 30%的含石量来计算。

从降雨数据来模拟最小土壤厚度,可假设几种情况。

(1)在夏季的一系列降雨中没有产生径流。若发生径流,那么就减少了能增加土壤湿度的有效降雨数量,就要重新估计最小土壤厚度。

(2)在成年树林的林冠下,每年冬季土壤可恢复其田间持水能力。而在干旱的年份这种条件是难以达到的。

(3)树木通过根部向下延伸吸取水分,可用模型将土壤厚度表示出来。若土壤结构不好或被压实,就会阻碍树木对水分的吸收,树木就会受到干旱的影响。

(4)未来降雨模式将类似于那些用来计算年均夏季降雨量的模式(1941~1970)。近年对气候变化的研究(英国气候变化影响评价小组,1991)认为,这种做法是不可能的,因为据测,夏季将比较热且比较干燥。比较干旱的气候将需要较厚的土壤,以保持水分。

(5)截留与降雨强度无关。严格来讲这是不正确的(Maitland *et al.*,1990),但没有反映截留与降雨强度关系的足够的资料去建立其模型。

附件 8

叶片取样及分析步骤(泰勒,1991)

一、概述

下述叶片的取样步骤,主要是为针叶林设计的,但也可供阔叶林参考。

必须强调的是,要获取优化的经济的施肥策略,叶片分析并非准确可靠的指导。土壤类型、现行树木生长状况、以往的施肥情况、林地所处的阶段、树种及当地的经验,都是决定是否要施肥考虑的主要因素。

目前,叶片取样应限制在平均高度在 4m 的树木上。

二、确定取样范围

若取样规划是为了检查一些具体问题,那么,叶片分析结果是比较容易解释的。

把要取样的树木的生长地分为生长好的地区和生长差的地区,叶片取样要从两个地区分别取样。理想情况是每种类型采集几套样品,以便得到更精确的结果。

三、采集样品的时间

采集样品可在 10 月份的第一个星期到 11 月份的第二个星期末中间的任何时候进行。落叶针叶林和阔叶林取样应在 7 月后期或 8 月进行,这时树木已完成发芽过程,叶片开始变色。

在持续降雨期后应避免取样,因为营养特别是钾肥可能会从针叶或叶片中沥滤出来。

四、选择要采样的树木

每种类型选择 5 棵长势好和长势差的树木，进行取样，以构成一组复合样品。

五、叶片的年龄

只允许采集当年发的芽；针叶或叶片不应剥掉萌发的芽。

六、采集发芽样品的位置

对针叶林，应从顶枝下第一轮芽枝上采集样本，包括 8 月 1 日生长的；每棵树采集一棵芽枝。对阔叶林取样，应从树的顶部采集未损坏的、全面展开的叶片。芽枝或叶片都必须是完全暴露在太阳光下的，因为阴影会影响其营养含量。

七、样品的大小

若不考虑取样树木生长率，通常针叶林采集 5 棵芽枝用于分析就足够了。若芽枝太长，则不能装入聚乙烯袋，那么，就应小心地将其截成两节。阔叶林应采集 $100cm^3$ 的叶片，包括叶柄。

八、样品包装、贴标签以及发货

若样品是湿的，应将它摇动一下以去掉叶子上的水珠，然后，放入 250mm×350mm 的聚乙烯袋中。标签上必须详细标明取样的位置、树种以及种植年份。

装着从 5 棵树采集到的芽枝的袋，应放在一起，并用有适度弹性的绳子扎牢。

在发货之前提交的样品清单必须包括标签上已标明的信息、送货人的姓名和地址、发货日期，以及需要进行的分析（通常是微营养分析）。

若样品送到林业局叶面分析部，应写上地址：
环境研究分部，林业局，研究处
艾丽斯·霍特·洛奇
兰克雷萨姆，法纳姆
萨里郡 GU10 4LH。
包裹的外面应注明“植物材料——紧急”。

附件 9

选择无机污染物的触发浓度(ICRCL,1987)

条件:

(1)不具备表下注的条件的,该表无效。

(2)表中所有浓度的数值,是在开发前根据对场地的充分调查所进行的现场取样而确定的。这些数值不能用于平均浓度、体积深度或混合浓度的分析,也不能用于已经开发的场地。表中建议的所有值都是暂定的。

(3)A组中的较低的值类似于用做农业土地的污水泥浆中金属含量的限值。B组的值是那些有可能造成植物毒性的限值。

(4)若所有的样品值都在阈值浓度以下,那么,就来自表中所列这些污染物的危害而论,则认为该场地无污染,可以继续开发。若样品中有几种污染物的浓度均超过污染物浓度的作用量,则需要采取补救措施,特别是如果污染仍在继续的话。若一种污染物的浓度在作用量之上,要么采取补救措施,要么改变开发的方式。

A组:可能对人体健康有害的污染物的阈值

污染物	计划使用方向	阈值	作用值
砷	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	10 40	* *
镉	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	3 15	* *
铬(六价)[①]	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	25 25	* *

续表

污染物	计划使用方向	阈值	作用值
铬(全部)	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	600	*
		1 000	*
铅	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	500	*
		2 000	*
汞	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	1	*
		20	*
硒	家庭花园、地段花园、玩耍场地、敞开空地	3	*
		6	*

B 组:含植物毒素但一般对人体健康无害的污染物的阈值

污染物	计划使用方向	阈值	作用值
硼(水溶性)③	使用在任何植物都可以生长的地方②,⑥	3	*
铜④,⑤	使用在任何植物都可以生长的地方②,⑥	130	*
镍④,⑤	使用在任何植物都可以生长的地方②,⑥	70	*
锌④,⑤	使用在任何植物都可以生长的地方②,⑥	300	*

注 * ICRCL59/83 的下一个版本中将对污染物的作用值做出规定。

①水溶性的六价铬是在 37℃ 的温度下从 0.1M HCl 中提取的,若碱性物质出现,溶液 pH 值应调整到 1.0。

②假设土壤 pH 值约为 6.5,应保持该值不变,若 pH 值下降,这些元素的毒性影响及吸收将会增加。

③通过 ADAS 标准方法来确定(热水中可溶)。

④总含量(通过 $HNO_3/HClO_4$ 提取)。

⑤铜、镍、锌的植物毒性影响可能会增加。此处给出的触发值是适合于"最恶劣情况";若是酸性土壤、沙土,这些含量可能会引发植物毒性;而在中性或碱性土壤,这些含量不会引发植物毒性。

⑥草本植物比其他大多数植物更能抵抗植物毒性作用,这些含量对草本植物的生长或许不会产生有害影响。

附件 10

与以往煤燃烧场地有关的污染物的暂行触发浓度(ICRCL,1987)

条件:

(1)不具备表下注的条件的,该表无效。

(2)表中所有浓度的数值,是在开发前根据对场地充分的调查所进行的现场取样来确定的。这些数值不适宜于平均浓度、体积浓度或混合浓度的分析,也不适宜于已开发的场地。

(3)这些数字有许多是初步确定的,还需要定期更新。对最近刊印的报告《气体场地开发或类似场地开发所产生的问题》,不宜采用也无需参考此表中值。

(4)若所有的样品值都低于阈值浓度,那么,就来自表中所列这些污染物的危害而论,该场地则认为是无污染的,可以继续进行开发。若样品中有几种污染物的浓度均超过污染物浓度的作用量,特别是如果污染继续产生的话,需要采取补救措施。若一种污染物的浓度在作用量之上,要么采取补救措施,要么改变开发的方式。

可能对人体健康有害的污染物的阈值

污染物	建议使用方向	阈值	作用值
多烃碳氢化合物[①,②]	家庭花园、玩耍场所、 地段风景区	50 1 000	500 10 000
石碳酸	家庭花园、 地段风景区	5 5	200 1 000
游离氰化物	家庭花园、 地段风景区	25	500

续表

污染物	建议使用方向	阈值	作用值
复合氰化物	家庭花园、 地段风景区	250 250	1 000 5 000
硫化氰酸盐	所有建议使用的区域	50	NL
硫酸盐	家庭花园、 地段风景区	2 000	1 000
硫化物	所有建议使用的区域	250	1 000
硫磺	所有建议使用的区域	5 000	20 000
酸度(pH值小于)	家庭花园、 地段风景区	5(pH值)	3

注 NL表示该污染物不会产生特殊危害,没有规定极限值。

①为了便于分析,在这里主要作为评价煤焦油的一个指标。见《气体场地开发及类似场地开发所产生的问题》。

②为分析提供详细材料,见《气体场地开发及类似场地开发所产生的问题》。

参考文献

1 Andrews, J. and Kinsman, D. (1990). *Gravel pit restoration for wildlife*. Royal Society for the Protection of Birds, Sandy.

2 Anon (1987). Environmental management at English China Clays. *M & Q Environment* 1, 16–18.

3 Arup Economics (1991). *Occurrence and utilisation of mineral and construction wastes*. HMSO, London.

4 Avery, B. W. (1987). Soil survey methods: a review. *Soil Survey and Land Research Centre Technical Monograph* 18. Silsoe.

5 Avery, B. W. and Bascomb, C, L. (1982). Soil survey laboratory methods. *Soil Survey Technical Monograph* 6. Harpenden.

6 Aver, M. and Leslie, R. (1990). *Birds and forestry*. Poyser, London.

7 Bååth, E. (1989). Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air and Soil Pollution* 47, 335–379.

8 Bailey, D. E. and Gunn, J. (1991). Landform replication as an approach to the reclamation of limestone quarries. *In*: M. C. R. Davies, ed *Land reclamation. An end to dereliction*? Elsevier Applied Science, London, pp. 96–105.

9 Bayes, C. D. and Taylor, C. M. A. (1988). The use of sewage sludge in the afforestation of former opencast coal sites: Clydesdale Forest Trials. *Water Research Centre Report*, PRU 1774–M/2. Water Research Centre, Medmenham.

10 Beckett, M., Dobbs, A. J. and Gourlay, D. (1992). The impact of contaminated land on freshwater quality. *In*: *Freshwater quality. Additional reports for the Royal Commission on Environmental Pollution*. HMSO, London.

11 Bendelow, V. C. and Hartnup, R. (1980). Climatic classification of England and Wales. *Soil Survey Technical Monograph* 15. Harpenden.

12 Bending, N. A. D., Moffat, A. J. and Roberts, C. J. (1991). Site factors af-

fecting tree response on restored opencast ground in the South Wales coalfield. *In*: M. C. R. Davies, ed. *Land reclamation. An end to dereliction?* Elsevier Applied Science, London, pp. 347 – 356.

13 Bengtsson, G. and Tranvik, L. (1989), Gritical metal concentrations for forest soil invertebrates. *Water, Air and Soil Pollution* 47, 381 – 417.

14 Benson, J, F. and Willis, K. G. (1991). The demand for forests for recreation. *In*: *Forestry expansion: a study of technical, economic and ecological factors*. Occasional Paper 39. Forestry Commission, Edinburgh.

15 Best, N. (1983). Legume supplies. *Report on forest research, Edinburgh* 1983, HMSO, London, p. 20.

16 Binns, W. O. (1982). Reclaiming mineral workings for forestry. *Span*25, 74 – 76.

17 Binns, W. O. and Fourt, D. F. (1976). Lowland production forestry. Gravel workings. *Report on forest research, London* 1976. HMSO, London, p. 22.

18 Binns, W. O. and Fourt, D. F. (1981). Surface workings and trees. *In*: *Research for practical arboriculture*. Occasional Paper 10. Forestry Commission, Edinburgh, 60 – 75.

19 Binns, W. O. and Fourt, D. F. (1983). Advisory. *Report on forest research, Edinburgh* 1983. HMSO, London, p. 22.

20 Binns, W. O., Mayhead, G. J. and Mackenzie, J. M. (1980). *Nutrient deficiencies of conifers in British forests*. Forestry Commission Leaflet 76. HMSO, London.

21 Bradshaw, A. D. (1981). Growing trees in difficult environments. *In*: *Research for practical arboriculture*. Occasional Paper 10. Forestry Commission, Edinburgh, 93 – 106.

22 Bradshaw, A. D., Dancer, W. S., Handler, J, F, and Sheldon, J. C. (1975). The biology of land revegetation and the reclamation of the china clay wastes in Cornwall. *In*: M. J. chadwick and G. T. Coodman, eds. *The ecology of resource degradation and renewal*. Blackwell, Oxford, pp. 363 – 384.

23 Bransden, B. E. (1981). Soil protection as a component of gravel raising. *Soil Use and Management* 7, 139 – 145.

24 Bray, R. H. and Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59, 39 – 45.

25 Bridges, E. M. (1987). *Surveying derelict land*. Clarendon Press, Oxford.

26 British Coal Opencast(1991). *Opencast coal mining in Great Britain*. British Coal Opencast, Mansfield.

27 British Geological Survey(1989). *United Kingdom minerals yearbook* 1988. British Geological Survey, Keyworth.

28 British Standards Institution(1980). *Nursery stock. Part* 1. *Specification for trees and shrubs*. BS3936: Part 1: 1980. British Standards Institution, London.

29 British Standards Institution(1984). *Nursery stock. Part* 4. *Specification for forest tress*. BS3936: Part 4: 1984. British Standards Institution, London.

30 British Standards Institution (1988). *Code of practice for the identification of potentially contaminated land and its investigation*. British Standards Institution, London.

31 British Standards Institution (1989). *Code of practice for general landscape operations*. BS4428: 1989. British Standards Institution, London.

32 Broad, K. F. (1979). *Tree Planting on manmade sites in Wales*. Occasional Paper 3. Forestry Commission, Edinburgh.

33 Buckldy, G. P. (1984). The uses of herbaceous companion species in the establishment of woody species from seed. *Journal of Environmental Management* 18, 309 – 322.

34 Burton, K. W., Morgan, E. and Roig, A. (1983). The influence of heavy metals upon the growth of sitka-spruce in South Wales forests. *Plant and Soil* 73, 327 – 336.

35 Christensen, T. H. and Kjeldsen, P. (1989). Basic biochemical processes in landfills. *In*: T. H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, eds. *Sanitary landfilling: process, technology and environmental impact*. Academic Press, London, pp. 29 – 50.

36 Colbourn, P. (1980). Estimation of the potential oxidation rate of pyrite in

coal mine spoils. *Reclamation Review* 2,113 – 121.

37 Commission on Rnergy and the Environment (1981). *Coal and the environment*. HMSO, London.

38 Cook, D. I. and Van Haverbeke, D. F. (1972). Trees, shrubs and land-forms for noise control. *Journal of Soil and Water Conservation* 27,259 – 261.

39 Cooper, P. F. (Ed.)(1990) European design and operations guidelines for reed bed treatment systems. *WRc Report UI* 17. Medmenham.

40 Cope, F. (1961). *The agronomic value of power station ash*. Unpublished Ph. D. thesis, University of Leeds.

41 Coppin, N. J. and Bradshaw, A. D. (1982). *Quarry reclamation*. Mining Journal Books Ltd, London.

42 Coppin, N. J. and Richards, I. G. (1990). *Use of vegetation in civil engineering*. Butterworths, London.

43 Coppock, R. C. (1986). A comparison of five different types of Corsican pine planting stock at Delamere Forest. *Quarterly Journal of Forestry* 80,165 – 171.

44 Costigan, P. A., Bradshaw, A. D. and GemmellL, R. P. (1981). The reclamation of acidic colliery spoil. I. Acid production potential. *Journal of Applied Ecology* 18,865 – 878.

45 Costigan, P. A., Bradshaw, A. D. and Gemmell, R. P. (1982). The reclamation of acidic colliery spoil. III. Problems associated with the use of high rates of limestone. *Journal of Applied Ecology* 19,193 – 201.

46 Craul, P. J. (1985). A description of urban soils and their desired characteristics. *Journal of Arboriculture* 11,330 – 339.

47 Cutler, D. F. (1991). Tree planting for the future: lessons of the storms of October, 1987 and January, 1990. *Arboricultural Journal* 15,225 – 234.

48 Dacey, P. W. and Colbourn, P. (1979). An assessment of methods for the determination of iron pyrites in coal mine spoil. *Reclamation Review* 2,113 – 121.

49 Daniels, W. L. and Amos, D. F. (1984). Generating productive topsoil substitutes from hardrock overburden in the Southern Appalachians. *Environmen-*

tal Geochemistry and Health 7,8 – 15.

50 Davies, R. J. (1987a). *Trees and Weeds*. Forestry Commission Handbook 2. HMSO, London.

51 Davies, R. J. (1987b). Tree establishment: soil amelioration, plant handling and shoot pruning. *In*: D. Patch, ed. *Advances in practical arboriculture*. Forestry Commission Bulletion 65. HMSO, London, pp. 52 – 57.

52 Davis, B. N. K. (1976). Wildlife, urbanisation and industry. *Biological Conservation* 10,249 – 291.

53 Dawkins, H. C., Hockin, R, L. and Power, J. D. (1985). First observations of ecological surveillance plots on afforested open-cast spoil in South Wales. *Commonwealth Forestry Institute Occasional Paper No*. 25. Oxford.

54 Department of the Environment (1986). *Landfilling wastes*. Waste Management Paper 26. HMSO, London.

55 Department of the Environment (1988). *Minerals planning guidance: applications, permissions and conditions*. Minerals Planning Guidance Not 2. HMSO. London.

56 Department of the Environment (1989). *Minerals planning guidance: the reclamation of mineral workings*. Minerals Planning Guidance Note 7. HMSO, London.

57 Department of the Environment (1991a). *Survey of derelict land in England*, 1988. HMSO, London.

58 Department of the Environment (1991b). *Survey of land for mineral workings in England*, 1988. HMSO, London.

59 Department of the Environment (1991c). *Derelict land grant policy*. Derelict Land Grant Advice Note 1. HMSO, London.

60 Department of the Environment (1991d). *Landfill gas*. Waste Management Paper 27, HMSO, London.

61 Dobson, M. C. and Moffat, A. J. (1993). *The potential for woodland establishment on landfill sites*. HMSO, London.

62 Downing, H. F. (1977). Landform design and grading. *In*: B. Hackett, ed. *Landscape reclamation practice*. IPC Scientific and Technical Press, pp. 85

– 124.

63 Duncan, N. A. and Bransden, B. E. (1986). The effects on a restored soil caused by soil moving under different moisture contents. *Applied Geography* 6, 267 – 273.

64 Edwards, M. V., Atterson, J. and Howell, R. S. (1963). *Wind loosening of young trees on upland heaths*. Forestry Commission Forest Record 50. HMSO, London.

65 Eltrop, L., Brown, G., Joachim, O. and Brinkman, K. (1991). Lead tolerance of *Betula and Salix* in the mining area of Mechernich, Germany. *Plant and Soil* 131, 275 – 285.

66 Farmer, A. M. (1992). The effects of dust on vegetation—a review. *Environmental Pollution* 79, 63 – 75.

67 Farrar, J. F., Relton. J. and Rutter, A. J. (1977). Sulphur dioxide and the scarcity of *Pinus sylvestris* in the industrial Pennines. *Environmental Pollution* 14, 63 – 68.

68 Finegan, B. G. (1984). Forest succession. *Nature, London* 312, 109 – 114.

69 Flower, F. B., Gilman, E. F. and Leone, I. A. (1981). Landfill gas, what it does to trees and how its injurious effects may be prevented. *Journal of Arboriculture* 7, 43 – 52.

70 Forestry Commission (1989). *Provisional code of practice for the use of pesticides in forestry*. Occasional Paper 21. Forestry Commission, Edinburgh.

71 Forestry Commission (1990). *Why grow trees? Britain's forests*. Forestry Commission, Edinburgh.

72 Forestry Commission (1991a). *Woodland grant scheme*. Forestry Commission, Edinburgh.

73 Forestry Commission (1991b). *Community woodland design guidelines*. HMSO, London.

74 Forestry Commission (1993). *Forests and water guidelines*. Third Edition. HMSO, London.

75 Fournier, F. (1972). *Soil conservation*. Nature and Environment Series. Council of Europe, Strasbourg.

76 Fourt, D. F. (1978). Restoration of spoils. *Report on forest research, London* 1978. HMSO, London, p. 24.

77 Fourt, D. F. (1979). Winged tines and restoration of gravel pits. *Saga Bulletin* 11, 4, 12.

78 Fout. D. F. (1980a). Spoils and nitrogen. *Report on forest research, Edinburgh* 1980. HMSO, London, 24 – 25.

79 Fourt, D. F. (1980b). Reclamation methods. *Report on forest research, Edinburgh* 1980. HMSO, London, p. 24.

80 Fourt, D. F. (1984a). Reclamation: peatcovered sites. *Report on forest research, Edinburgh* 1984. HMSO, London, p. 24.

81 Fourt. D. F. (1984b). Lowland forestry. Reclamation: machinery. *Report on forest research, Edinburgh* 1984. HMSO, London, p. 22.

82 Fourt, D. F. and Best, N(1981). Open-cast mineral sites-legumes. *Report on forest research, Edinburgh* 1981. HMSO, London, 25 – 26.

83 Fourt, D. F. and Best, N. (1982). Open-cast mineral sites: nitrogen nutrition. *Report on forest research, Edinburgh* 1982. HMSO, London, 17 – 18.

84 Fourt, D. F. and Best, N, (1983). Reclamation: sand and gravel. *Report on forest research, Edinburgh* 1983. HMSO, London, p. 19.

85 Fourt, D. F. and Carnell, R. (1979). Gravel workings. *Report on forest research, Edinburgh* 1979. HMSO, London. p. 22.

86 Froehlich, H. A. and McNabb, D. H. (1984). Minimizing soil compaction in Pacific Northwest forests. *In*: E. L. Stone, ed. *Forest soils and treatment impacts. Proceedings of the 6th North American forest soils conference*. University of Tennessee, Tennessee, pp. 159 – 192.

87 Gawn, P. (1991). *Landscape architecture: gas monitoring techniques*. Proceedings of a National Association of Waste Disposal Contractors training course on the practical landfill restoration and after-care of landfill sites. Welwyn, 18 – 19 April 1991.

88 Geyer, W. A. and Rogers, N. E. (1982). Spoil changes and tree growth on coal mined spoil in Kansas. *Journal of Soil and Water Conservation* 27, 114 – 116.

89 Gilbert, O. L. (1983). The growth of planted trees subject to fumes from brickworks. *Environmental Pollution Series A* 31, 301 - 310.

90 Gilbertson, P., Kendle, A. D. and Bradshaw, A. D. (1987). Root growth and the problems of trees in urban and industrial areas. *In*: D. Patch, ed *Advances in practical arboriculture*. Forestry Commission Bulletin 65. HMSO, London, pp. 59 - 66.

91 Gill, C. J. (1970). The flooding tolerance of woody species—a review. *Forestry Abstracts* 31, 671 - 688.

92 Goodman, G. T. and Roberts, T. M. (1971). Plants and soil as indicators of metals in the air. *Nature, London* 231, 287 - 292.

93 Greacen, E. L. and Sands, R. (1980). Compaction of forest soils: a review. *Australian Journal of Soil Research* 18, 163 - 189.

94 Green, J. E. and Salter, R. E. (1987). *Methods for reclamation of wildlife habitat in the Canadian Prairie Rockies*. Environment Canada, Edmonton.

95 Greenwood, E. F. and Gemmell, R. P. (1978). Derelict industrial land as a habitat for rare plants in S. Lancs(v. c. 59)and W. Lancs(v. c. 60). *Watsonia* 12, 33-40.

96 Haigh, M. J. (1979). Ground retreat and slope evolution on plateau-type colliery spoil mounds at Blaenavon, Gwent. *Transactions of the Institute of British Geographers, New Series* 4, 321 - 328.

97 Hall, R. L. and Roberts, J. M. (1990). Hydrological aspects of new broad-leaf plantations. *SEESOIL* 6, 2 - 38.

98 Harris, J. A., Birch, P. and Short, K. C. (1989). Changes in the microbial community and physico-chemical characteristics of topsoils stockpiled during opencast mining. *Soil Use and Management* 5, 161 - 168.

99 Hart, C. E. (1966). *Royal forest. History of Dean's woods as producers of timber*. Oxford University Press, London.

100 Hay, R. (In preparation). Forest road design. Forestry Commission Guide. Forestry Commission, Edinburgh.

101 Hilton, K. J. (ed.)(1967). *The Lower Swansea Valley Project*. Longmans Press, London.

102 Hodgson, D. R. and Buckley, G. P. (1975). A practical approach towards the establishment of trees and shrubs on pulverised fuel ash. *In*: M. J. Chadwick, and G. T. Goodman, eds. *Ecology of resource degradation and renewal*. Blackwell, Oxford, pp. 305-329.

103 Hodgson, D. R. and Townsend, W. N. (1973). The amelioration and revegetation of pulverised fuel ash. *In*: R. J. Hatrik and G. Davies, eds. *Ecology and reclamation of devastated land*. Gordon and Breech, London, pp. 247 – 271.

104 Hodgson, J. M. (ed.) (1976). Soil survey field handbook. *Soil Survey Technical Monograph* 5. Harpenden.

105 Hook, D. D., Murray, M. D., DeBell, D. S. and Wilson, B. C. (1987). Variation in growth of red alder families in relation to shallow water table levels. *Forest Science* 33, 224 – 229.

106 ICRCL(1987). *Guidance on the assessment and redevelopment of contaminated land*. ICRCL Guidance Note 59/83, 2nd edition. Department of the Environment, London.

107 Insley, H. and Buckley, G. P. (1980). Some aspects of weed control for amenity trees on man-made sites. *In*: *Proceedings of the conference on weed control in forestry, Nottingham University*, Association of Applied Biologists, 189 – 200.

108 Jefferies, R. A. (1981). Legumes for the reclamation of derelict and disturbed land. *Landscape Design* 81(5), 39 – 41.

109 Jobling, J. (1972). Trials of species on other soils: industrial waste sites. *Report on forest research, London* 1972. HMSO, London, 35 – 36.

110 Jobling, J. (1973). Trials of species on other soils: industrial waste sites. *Report on forest research, London* 1973. HMSO, London, 40 – 41.

111 Jobling, J. (1977). Coal tip review. *Report on forest research, London* 1977. HMSO, London. p. 14.

112 Jobling, J. (1978). Difficult man-made sites, *Report on forest research, London* 1978. HMSO, London p. 13.

113 Jobling, J. (1979). Reclaimed colliery spoil. *Report on forest research, Ed-*

inburgh 1979. HMSO, London, p. 14.

114 Jobling. J. and Carnell, R. (1985). *Tree planting in colliery spoil*. Research and Development Paper 136. Forestry Commission, Edinburgh.

115 Jobling, J. and Stevens, F. R. W. (1980). *Establishment of trees on regraded colliery spoil heaps*. Occasional Paper 7. Forestry Commission, Edinburgh.

116 Jobling, J. and Varcoe, W. M. (1985). *Establishment and management of trees on reclaimed colliery spoil*. Unpublished final report to Department of the Environment. Forestry Commission, Farnham.

117 Johnson, M. (1989). Involving the public. *In*: B. G. Hibberd, ed. *Urban forestry practice*. Forestry Commission Handbook 5. HMSO, London, pp. 26 - 34.

118 Johnson, M. S., Putwain, P. D. and Holliday, R. J. (1978). Wildlife conservation value of derelict metalliferous mine workings in Wales. *Biological Conservation* 14, 131 - 148.

119 Kemp, J. (1988). Observations on the effect of modern restoration techniques on stream flow at Outgang opencast coal site, Cumbria. *In*: *Ten years of research—what next*? British Coal, Newcastle, 26 - 36.

120 Knox, K. (1989). Practice and trends in landfill in the UK. *In*: T. H. Christensen, R. Cossu and R. Stegmann, eds. *Sanitary landfilling: process, technology and environmental impacts*. Academic Press, London, pp. 533 - 548.

121 LA Dell, T, (1983), An introduction to tree and shrub seeding. *Landscape Design* 83(8), 27 - 31.

122 Land Capability Consultants (1989). *Cost effective management of reclaimed derelict sites*. HMSO, London.

123 Land Use Consultants (1992). *Amenity reclamation of mineral workings*. HMSO, London.

124 Lavender, S. J. (1981). *New land for old*. Hilger, Bristol.

125 Lines, R. (1979). Airborne pollutant damage to vegetation - observed damage. *In*: *Sulphur emissions and the environment*. Society of the Chemical

Industry, London, 234 – 241.

126 Lucas, O. W. R. (1983). Design of landform and planting. *In*: *Reclamation of mineral workings to forestry*. Research and Development Paper 132. Forestry Commission, Edinburgh, 24 – 36.

127 Luke, A., Brown, D. and Niles, J. (1987). Successful sand pit revegetation with woody plants. *Professional Horticulture* 1, 106 – 111.

128 Luke, A. G. R. and Macpherson, T. K. (1983). Direct tree seeding: a potential aid to land reclamation in central Scotland. *Aboricultural Journal* 7, 287 – 299.

129 Macaulay Land Use Research Institute (1988). *Land capability for forestry*. Sheet 6: South West Scotland. Forestry Commission, Edinburgh.

130 MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food) (1981). *The analysis of agricultural materials*. MAFF Reference Book 427. HMSO, London.

131 Maitland, P. S., Newson, M. D. and Best, G. A. (1990). The impact of afforestation and forestry practice on freshwater habitats. *Focus on Nature Conservation No*. 23. Nature Conservancy Council, Peterborough.

132 Marrs, R. H. and Bradshaw, A. D. (1980). Ecosystem development on reclaimed china clay wastes. Ⅲ. Leaching of nutrients. *Journal of Applied Ecology* 17, 727 – 736.

133 McNeill, J. K., Hollingsworth, M. K., Mason, W. L., Moffat, A. J., Sheppard, L. J. and Wheeler, C. T. (1989). *Inoculation of Alnus rubra seedlings to improve seedling growth and forest performance*. Research Information Note 144. Forestry Commission, Edinburgh.

134 McNeill, J. D. and Moffat, A. J. (1992). Reclamation of upland sites. *Report on forest research, Edinburgh* 1991. HMSO, London, p. 17.

135 Meteorological Office (1989). *Climatological data for agricultural land classification*. Meteorological Offiee, Bracknell.

136 Moffat, A. J. (1987). The geological input to the reclamation process in forestry. *In*: M. G. Culshaw, F. G. Bell, J. C. Cripps and M. O' Hara, eds. *Planning and engineering geology*. Engineering Geology Special Publication 4. Geological Society, London, 541 – 548.

137 Moffat, A. J. (1989). *The establishment of trees on soil amended with gypsum*. First report to Central Electricity Research Laboratory. Forestry Commission, Farnham.

138 Moffat, A. J. (1991). *The establishment of trees on soil amended with gypsum*. Final report to National Power TEC. Forestry Commission, Farnham.

139 Moffat, A. J., Bending, N. A. D. and Roberts, C. J. (1991). The use of sewage sludge as a fertiliser in the afforestation of opencast coal spoils in South Wales. *In*: M. C. R. Davies, ed. *Land reclamation. An end to dereliction?* Elsevier Applied Science, London, pp. 391 – 392.

140 Moffat, A. J. and Houston, T. J. (1991). Tree establishment and growth at Pitsea landfill site, Essex, U. K. *Waste Management and Research* 9, 35 – 46.

141 Moffat, A. J. and Roberts, C. J. (1989a). The use of sewage sludge on reclamation. *Reprot on forest research, Edinburgh* 1989. HMSO, London, p. 27.

142 Moffat, A. J. and Roberts, C. J. (1989b). Experimental tree planting on china clay spoils in Cornwall. *Quarterly Journal of Forestry* 83, 149 – 156.

143 Moffat, A. J. and Roberts, C. J. (1989c). The use of large scale ridge and furrow landforms in forestry reclamation of mineral workings. *Forestry* 62, 233 – 248.

144 Moffat, A. J. and Roberts, C. J. (1990). Grass mixtures for afforested opencast spoils in South Wales. *Land Degradation and Rehabilitation* 2, 127 – 134.

145 Moffat, A. J., Roberts, C. J. and McNeill, J. D. (1989). *The use of nitrogenfixing plants in forest reclamation*. Research Information Note 158. Forestry Commission, Edinburgh.

146 National Audit Office (1986). *Review of Forestry Commission objectives and achievements*. HMSO, London.

147 Nature Conservancy Council (1990). *Earth science conservation in Great Britain: a strategy*. Nature Conservancy Council, Peterborough.

148 Neustein, S. A. and Jobling, J. (1965). Afforestation of difficult sites: industrial sites. *Report on forest research, London* 1964. HMSO, London, p. 21.

149 Neustein, S. A., Everard, J. and Jobling, J. (1968). Afforestation of difficult sites: industrial sites. *Report on forest research, London* 1968. HMSO, London, 37 – 38.

150 Neustein, S. A. and Jobling, J. (1969). Trials of species on other soils: industrial waste sites. *Report on forest research, London* 1969. HMSO, London, 50 – 51.

151 Newton, R. W. B. (1951). Afforestation of unrestored land. *Quarterly Journal of Forestry* 45, 38 – 41.

152 Palaniappan, V. M., Marrs, R. H. and Bradshaw, A. D. (1979). The effect of *Lupinus arboreus* on the nitrogen status of china clay wastes. *Journal of Applied Ecology* 16, 825 – 831.

153 Palmer, J. P. (1991). Techniques for reclaiming metalliferous tailings. *In*: M. C. R. Davies, ed. *Land reclamation. An end to dereliction?* Elsevier Applied Science, London, pp. 357 – 365.

154 Palmer, J. P., Morgan, A. L. and Williams, P. J. (1985). Determination of the nitrogen composition of colliery spoil. *Journal of Soil Science* 36, 209 – 217.

155 Pepper, H. W. (1992). *Forest fencing*. Forestry Commission Bulletin 102. HMSO, London.

156 Pinchin, R. D. (1951). Plantations on opencast ironstone mining areas in the Midlands. *Report on forest researh, London* 1951. Forestry Commission, London, 31 – 34.

157 Pinchin, R. D. (1953). *Afforestation of spoil heaps in the South Wales coalfield*. Unpublished departmental report. Forestry Commission , Farnham.

158 Potter, C. J. (1989). Establisment and early maintenance. *In*: B. G. Hibberd, ed. *Urban forestry practice*. HMSO, London, pp. 78 – 90

159 Potter, M. J. (1991). *Treeshelters*. Forestry Commission Handbook 7. HM-

SO, London.

160 Pulford, I. D. (1991). A review of methods to control acid generation in pyritic coal mine wastes. *In*: M. C. R. Davies. ed. *Land reclamation. An end to dereliction?* Elsevier Applied Science, London, pp. 269 - 278.

161 Putwain, P. D., Evans, B. E. and Kerry, S. (1988). The early establishment of amenity woodland on roadsides by direct seeding. *Aspects of Applied Biology* 16, 63 - 72.

162 Pyatt, D. G. (1990). *Forest drainage*. Research Information Note 196. Forestry Commission, Edinburgh.

163 Radvanyi, A. (1980). Control of small mammal damage in the Alberta oil sands reclamation and afforestation program. *Forest Science* 26, 687 - 702.

164 Ramsay, W. J. H. (1986). Bulk soil handling for quarry restoration. *Soil Use and Management* 2, 30 - 39.

165 Reaney, M. (1990). How green is my valley. *Forest Life*, 7, 10 - 11.

166 Richardson, J. A. (1958). Temperature and growth on pit heaps. *Journal of Ecology* 46, 537 - 546.

167 Rimmer, D. L. (1991). Soil storage and handling. *In*: P. Bullock and P. J. Gregory, eds. *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 76 - 86.

168 RMC(1987). *A practical guide to restoration*. RMC, Feltham.

169 Roberts, J. (1983). Forest transpiration: a conservative hydrological process? *Journal of Hydrology* 66, 133 - 141.

170 Rothwell, R. L. (1971). Watershed management guidelines for logging and road construction. *Canadian Forestry Service Information Report* A - X - 42. Edmonton.

171 Rowan, A. A. (1976). *Forest road planning*. Forestry Commission Booklet 43. HMSO, London.

172 Roy Waller Associates Lyd(1991). *Environmental effects of surface mineral workings*. HMSO, London.

173 Ruark, G. A., Mader, D. L. and Tattar, T. A. (1983). The influence of soil moisture and temperature on the root growth and vigour of trees—a re-

view. Part Ⅱ. *Arboricultural Journal* 7,39 – 51.

174 Scottish Office(1990). *Scottish vacant land survey – commentary. Unpublished* Report.

175 Scullion, J. (1991). Re-establishing earthworm populations on former opencast coal mining land. *In*: M. C. R. Davies, ed. *Land reclamation. An end to dereliction?* Elsevier Applied Science, London, pp. 377 – 386.

176 Scullion, J., Mohammed, A. R. A. and Richardson, H. (1988). The effect of storage and reinstatement procedures on earth-worm populations in soils affected by opencast mining. *Journal of Applied Ecology* 25, 233 – 240.

177 Selmes, R. E. (1992). The British forest resource inventory and forecast. *In*: G. E. Richards, ed. *Wood: fuel for thought*. Harwell Laboratories, Harwell, pp. 231 – 239.

178 Sheldon, J. C. and Bradshaw, A. D. (1977). The development of a hydraulic seeding technique for unstable sand slopes. I. Effects of fertilisers, mulches and stabilisers. *Journal of Applied Ecology* 14, 905 – 918.

179 Steele, B. B. and Grant, C. V. (1982). Topographic diversity and islands of natural vegetation: aids in re-establishing bird and mammal communities on reclaimed mines. *Reclamation and Revegetation Research* 1, 367 – 381.

180 Stevens, F. R. W., Thompson, D. A. and Gosling, P. G. (1990). *Research experience in direct sowing for lowland plantation eatablishment*. Research Information Note 184. Forestry Commission, Edinburgh.

181 Street, M. (1983). *The restoration of gravel pits for wildfowl*. ARC, Chipping Sodbury. Street, M. (1989). *Ponds and lakes for wildfowl*. Game Conservancy, Fordingbridge.

182 Taylor, C. M. A. (1987). Nutrition: sewage sludge. *Report on forest research, Edinburgh* 1987. HMSO, London, p. 24.

183 Taylor, C. M. A. (1991). *Forest fertilisation in Britain*. Forestry Commission Bulletin 95. HMSO, London.

184 Teasdale, J. B. (1983). Forestry Commission and local authority liaison: the Minerals Act. *In*: *Reclamation of mineral workings to forestry*. Research and Development Paper 132. Forestry Commission, Edinburgh, pp. 3 – 5.

185 Thornes, J. B. (1980). Erosional processes of running water and their spatial and temporal controls: a theoretical viewpoint. *In*: M. J. Kirkby and R. P.C. Morgan, eds. *Soil erosion*. J. Wiley and Sons, Chichester, pp. 129 – 182.

186 Thornton, I. (1980). Geochemical aspects of heavy metal pollution and agriculture in England and Wales. *In*: *Inorganic pollution and agriculture*. MAFF Reference Book 326. HMSO, London, pp. 105 – 125.

187 Thornton, I. (1991). Metal contamination of soils in urban areas. *In*: P. Bullock and P. J. Gregory, eds. *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 47 – 75.

188 Townsend, W. N. and Hodgson, D. R. (1973). Edaphological problems associated with deposits of pulverised fuel ash. *In*: R. J. Hatrik and G. Davies, eds. *Ecology and reclamation of devastated land*. Gordon and Breech, London, pp. 45 – 56.

189 UK Climate Change Impacts Review Group (1991). *Tte potential effects of climate change in the United Kingdom*. HMSO, London.

190 Vann, A. R., Brown, L., Chew, E., Denisonsmith, G. and Miller, E. (1988). Early performance of four species of *Alnus* on derelict land in the industrial Pennines. *Quarterly Journal of Forestry* 82, 165 – 170.

191 Vogel, W. G. (1987). *A manual for training reclamation inspectors in the fundamentals of soils and revegetation*. U. S. Department of Agriculture: Forest Service, Kentucky.

192 Walker, S. (1981). *The potential for woodland rehabilitation of derelict mined land on the United Downs, Cornwall, England*. Unpublished M. Sc. thesis. Camborne School of Mines, Cornwall.

193 Wardell Armstrong (1993). *Landscaping and revegetation of china clay wastes*. Department of the Environment, London.

194 Welsh Office (1991). *Results of the survey of land for mineral workings in Wales*. Welsh Office, Cardiff.

195 White, J. (1959). Afforestation of a former opencast coal site in Coed Morgannwg, South Wales. *Journal of the Forestry Commission*, 28, 69 – 74.

196 Williamson, D. R. and Lane, P. B. (1989). *The use of herbicides in the forest*. Forestry Commission Field Book 8. HMSO, London.

197 Williamson, J. C. and Johnson, D. B. (1990). Mineralisation of organic matter in topsoils subjected to stockpiling and restoration at opencast coal sites. *Plant and Soil* 128, 241 – 247.

198 Wilson, G. (1991). *Post closure problems on landfill sites*. Proceedings of a National Association of Waste Dissposal Constractors training course on the practical landfill restoration and after-care of landfill sites. Welwyn, 18 – 19 April 1991.

199 Wilson, G. and Thomas, R. (1991). The preservation of geological exposures in landfilled quarries. *In*: *Sardinia '91*: *third international landfill symposium proceedings*. Enviromental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, 1171 – 1178.

200 Wilson, K. (1985). *A guide to the reclamation of mineral workings for forestry*. Research and Development Paper 141. Forestry Commission, Edinburgh.

201 Wilson, K. (1987). Reclamation of mineral workings to forestry. *In*: D. PATCH, ed. *Advances in practical arboriculture*. HMSO, London, pp. 38 – 41.

202 Wolstenholme, R., Dutch, J., Moffat, A. J., Bayes, C. D. and Taylor, C. M. A. (1992). *A manual of good practice for the use of sewage sludge in forestry*. Forestry Commission Bulletin 107. HMSO, London.

203 Wood, R. F., Holmes, G. D. and Fraser, A. I. (1961). Afforestation of particular types of land. *Report on forest research, London* 1960. HMSO, London, p. 27.

204 Wood, R. F. and Thurgood, J. V. (1955). *Tree planting on colliery spoil heaps*. Research Branch Paper 17. Forestry Commission, London.

205 Wright, P. J. (1989). Specialised machinery in land restoration. *M & Q* Environment 2, 20 – 23.